# ஒளியியல்

(பட்டப்படிப்புக்குரியது)

ஆசிரியர்கள்

டாக்டர் வி. சண்முகசுந்தரம், எம்.ஏ., எம்.சயி., பி.எச்டி.,

டாக்டர் ஆர். சபேசன், எம். ஏ., எம். சயி., பி. எச்டி.,

விரிவுரையாளர்கள், பௌதிகத் துறை,

அண்ணாமலைப் பல்கலைக் கழகம்,

அண்ணாமலை நகர்.

தமிழ் வெளியீட்டுக் கழகம்

தமிழக அரசு

தமிழ் வெளியீட்டுக் கழக வரிசை எண்—215

# ஒளியியல்

(பட்டப்படிப்புக்குரியது)

ஆசிரியர்கள்
டாக்டர் வி. சண்முகசுந்தரம், எம்.ஏ., எம்.சயி., பி.எச்டி.,
டாக்டர் ஆர். சபேசன், எம். ஏ., எம். சயி., பி. எச்டி.,
விரிவுரையாளர்கள், பௌதிகத் துறை,
அண்ணாமலைப் பல்கலைக் கழகம்,
அண்ணாமலை நகர்.

தமிழ் வெளியீட்டுக் கழகம்
தமிழக அரசு

First Edition—November 1969

B.T.P. No 215

© Bureau of Tamil Publications

LIGHT for B.Sc.,

Dr. V. SHANMUGASUNDARAM
Dr. R. SABESAN

*Net price Rs. 7-75*
(No discount)

Printed by
ANURADHA ACCHAGAM
146, T. H. Road, Madras-21.

# அணிந்துரை

(திரு. இரா. நெடுஞ்செழியன், தமிழகக் கல்வி-சுகாதார அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கி எட்டு ஆண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி.ஏ., வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்றுவந்தனர். 1968ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் புகுமுக வகுப்பிலும் (P.U.C.), 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து பட்டப்படிப்பு வகுப்புகளிலும் விஞ்ஞானப் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன் வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளிலும் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்த நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மனநிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ்வகையில், கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக் கழகம் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெரு முயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டும்.

பல துறைகளில் பணிபுரியும் பேராசிரியர்கள் எத்தனையோ நெருக்கடிகளுக்கிடையே குறுகிய காலத்தில் அரிய முறையில் நூல்கள் எழுதித் தந்துள்ளனர்.

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், கணிதம், பௌதிகம், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழி பெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இரு வகையிலும் தமிழ் வெளியீட்டுக் கழகம் நூல்களை வெளியிட்டுவருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான 'ஒளியியல்' என்ற இந் நூல் தமிழ் வெளியீட்டுக் கழகத்தின் 215ஆவது வெளியீடாகும். இதுவரை 250 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன.

உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை; ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழைப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெற வேண்டும். அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக் கழகங்களின் பலவகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம்கலந்த நன்றி உரித்தாகுக.

இரா. நெடுஞ்செழியன்

# பொருளடக்கம்


| | | | பக்கம் |
|---|---|---|---|
| 1. | ஒளி அளவியல் | ... | 1 |
| 2. | எதிரொளிப்பு | ... | 20 |
| | (1) சமதள எதிரொளிப்பு | | |
| | (2) கோள எதிரொளிப்பு | | |
| 3. | ஒளி விலகல் | ... | 57 |
| | (1) சமதளப் பரப்பில் ஒளிவிலகல் | | |
| | (2) கோளப் பரப்பில் ஒளிவிலகல் | | |
| 4. | நிறப்பிரிகையும் நிறப்பிறழ்ச்சியும் | ... | 143 |
| 5. | பிம்பங்களின் குறைபாடுகள் | ... | 168 |
| 6. | ஒளியியல் கருவிகள் | ... | 182 |
| 7. | ஒளியின் வேகம் | ... | 226 |
| 8. | ஒளியியல்பு | ... | 243 |
| 9. | ஒளியின் அலைக்கொள்கை | ... | 248 |
| 10. | குறுக்கீட்டு விளைவு | ... | 271 |
| 11. | விளிம்பு விளைவு | ... | 318 |
| 12. | தள விளைவு | ... | 382 |
| | கலைச்சொற்கள் | ... | 429 |

# 1. ஒளி அளவியல்

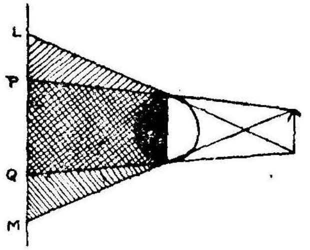
## (Photometry)

1·1. ஒளியியல் பிரிவுகள்: ஒளி ஆற்றல், நம் காட்சிப் புலனைத் தூண்டி, நமக்குப் பார்வை அளிக்கின்றது. வானிலுள்ள கோள்களைப்பற்றி, விஞ்ஞானிகள் முதன்முதல் தெரிந்துகொண்ட உண்மைகள் யாவும், அவற்றிலிருந்துவரும் ஒளியை அடிப்படையாகக்கொண்ட ஆராய்ச்சிகளிலிருந்தேயாகும். அதுபோலவே, பௌதிகப் பொருளின் அணு, கருபோன்ற மிகச் சிறிய கூறுகளின் தன்மைகளைப்பற்றி விஞ்ஞானிகள் கண்டுகொண்ட உண்மைகளும், அவற்றிலிருந்து கிடைக்கும் ஒளியின் பண்புகளை அடிப்படையாகக் கொண்டதாகும். ஒளியின் மீநிலை (macroscopic) பண்புகளைப் பொதுவாக வடிவியல் ஒளியியல், (geometrical optics) என்ற தலைப்பின் கீழும், நுண்ணியல் (microscopic) பண்புகளைப் பௌதிக ஒளியியல் (physical optics) என்ற தலைப்பின்கீழும் காண்போம்.

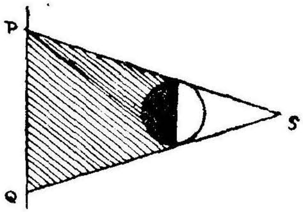
1·2. ஒளியின் நேர்க்கோட்டுச் செலவு (Rectilinear propagation of light): சூரியன், மின்விளக்குகள் போன்ற தாமாகவே ஒளிரும் பொருள்களைத் தன் ஒளி படைத்த (self-luminous) பொருள்கள் என்றும், மற்றவைகளைத் தன் ஒளி படைக்காப் பொருள்கள் (non-luminous) என்றும் கூறப்படும். தன்ஒளி படைக்காப் பொருள்கள் தன்ஒளி படைத்த பொருள்களிலிருந்து வரும் ஒளியை எதிரொளிப்பதின்மூலம் நம் கண்களுக்குப் புலப்படுகின்றன.

ஒருபடித்தான (homogenous) ஊடகம் ஒன்றின் வழியாகச் செல்லும்பொழுது, ஒளி நேர்க்கோட்டிலேயே செல்கின்றது. இதுவே ஒளியின் நேர்க்கோட்டுச் செலவு என்று கூறப்படும். ஒளியின் இப் பண்பினால், ஏற்படும் நேரடிவிளைவு, ஒளிக்கதிர்கள் முன்வைக்கப்பட்ட ஒரு பொருளின் நிழல் (shadow) உருவாவதே ஆகும். புள்ளி ஒளியின்மூலம் ஒன்றிற்கும் திரை ஒன்றுக்குமிடையே ஒளிபுகாப் பொருளினாலான (opaque substances) ஒரு தட்டை

வைத்தால், திரையில் தட்டின் வடிவொத்த இருண்ட பகுதி தென் படும். இதுவே அந்தப் பொருளின் நிழல் என்று கூறப்படும். ஒளி மூலம் புள்ளியாக இருந்தால், இந்த நிழலும் கருநிழலாக அமையும் (படம் 1·1). ஒளிமூலம் நீட்சியுடையதாக இருந்தால், பொருளின் நிழல் இரு பகுதிகளாகத் தெரியும் (படம் 1·2). இதில் ஒன்று முழு இருளாகவும் நடுப்பகுதி (PQ) ஆகும். இது கரு நிழல் (umbra) எனப்படும். மற்றொன்று கருநிழலைச் சூழ்ந்து ஓரளவு ஒளியுடன்



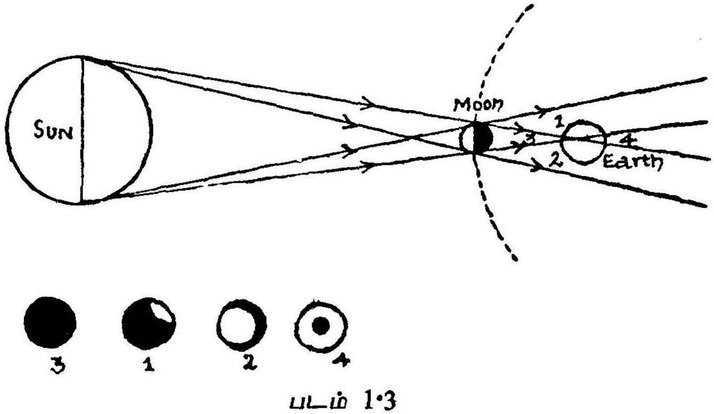

படம் 1·1




படம் 1·2

(LP, QM) காணப்படும். இது புறநிழல் (penumbra) எனப்படும். ஒளி நேர்க்கோட்டில் செல்லாவிடில், கருநிழலோ அல்லது புறநிழலோ தோன்ற முடியாது.

1·3. கிரகணங்கள் — சூரிய கிரகணம்: சூரிய கிரகணம், சந்திர கிரகணம் முதலியவை தோன்றுவதற்கும், ஒளியின் இந்த நேர்க் கோட்டுச் செலவே காரணமாகும். சூரியனுக்கும் பூமிக்கும் இடையே சந்திரன் வரக்கூடிய நாட்களான, இருள்மதி (Newmoon) நாட்களில் சூரிய கிரகணம் ஏற்படுகின்றது. படம் 1-3. சந்திரனின்

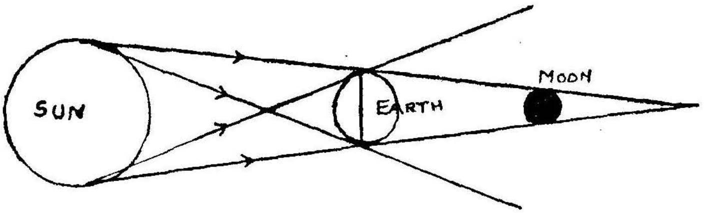



படம் 1·3

நிழல் பூமிமீது விழும்பொழுது கருநிழல் பகுதியில் (3)ல் உள்ளவர் கள், சூரியனைச் சிறிதளவுகூடக் காண இயலாது. இந்தப் பகுதியில்

உள்ளவர்களுக்கு முழு சூரிய கிரகணமாக அமையும். மாறாக புறநிழல் பகுதியில் (1, 2) உள்ளவர்களுக்குப் பகுதிக் கிரகணமாகத் தோன்றும். பூமி 4 என்ற பகுதியில் இருக்க நேர்ந்தால், கங்கணக் கிரகணம் தோன்றும்.

சந்திர கிரகணம்: இது, சந்திரனும் சூரியனும் பூமிக்கு இரு புறங்களிலும் அமையக்கூடிய முழு மதி (Full moon) நாட்களில் ஏற்படும். இந் நிலையில் பூமியின் நிழலுக்குள் சந்திரன் செல்கின்றது. சந்திரனின் நிலையைப் பொறுத்து, முழுக் கிரகணமோ அல்லது பகுதிக் கிரகணமோ தோன்றும். படம் 1·4 சந்திர கிரகணம் தோன்றுவதை விளக்குகின்றது.




படம் 1·4

1·4. ஒளி அளவியல்: இயற்கை நமக்கு அளிக்கும் மிகப் பெரிய ஒளிச் சக்தி சூரியனிடமிருந்து கிடைப்பதாகும். எனினும், வளர்ந்து வரும் சமுதாயத்தில், செயற்கைமுறையில் ஒளியூட்டுவது இன்றியமையாததாகிவிட்டது. தொழிற்சாலைகள், கல்விக்கூடங்கள், நூல் நிலையங்கள், இவைகள் அமைக்கப்படும்பொழுது, அவற்றின் தேவைக்கேற்ப ஒளியூட்டவேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகின்றது. எனவே ஒளியை அளவிடக்கூடிய ஓர் அளவீட்டு முறை இன்றியமையாதது. ஒளிச் சக்தியை அளவிடுவதற்குச் சில அலகுமுறைகளை வகுத்து, அதை அளவிடும் முறை, ஒளி அளவியல் (photometry) எனப்படும்.

1·5. மொத்த ஒளிவிளக்கப் பாயம் (Total luminus flux): ஒளி அளவியலில் நம் கண்களுக்குப் புலனாகும் ஒளியின் செறிவை மட்டும்தான் கணக்கில் கொள்கிறோம். ஓர் ஒளி மூலம், ஒரு நொடியில், எல்லாத் திசைகளிலும், வீசக்கூடிய ஒளிச் சக்தி அந்த ஒளி மூலத்தின் 'மொத்த ஒளிவிளக்கப் பாயம்' எனப்படும். இதை அளவிடப் பயன்படுத்தும் அலகுமுறை 'காண்டில் திறன்' (candle lower) எனப்படும். காண்டில் திறன் என்பது 1/6 பவுண்டு எடையுள்ள ஒரு மெழுகுவர்த்தியின் மெழுகு, மணிக்கு 120 கிரயின் அளவு எரிபட்டு, அதனால் உண்டாகும் ஒளிச்சக்தியின் அளவாகும். இந்த அடிப்படை அலகு, அளவிடுவதற்கு மிகவும் கடினமாகையால், தற்பொழுது வேறு சில எளிதான படித்தரங்களையும்

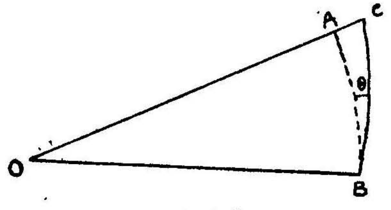
(standards) வகுத்திருக்கிறார்கள். 1940ஆம் ஆண்டு அனைத்துலக விஞ்ஞான மாநாட்டில், ஒளிச் சக்தியை அளவிடுவதற்கான 'அனைத்துலகப் படித்தரக் காண்டில்' (International Standard Candle) என்ற அலகு உருவாக்கப்பட்டது. இதன்படி ஒரு ச.செ.மீ. அளவுள்ள கரும்பொருள் ஒன்று பிளாட்டின உருகுநிலை வெப்பத்தில் (1769°C) இருக்கும்பொழுது வீசும் ஒளிச் சக்தியின் 60-ல் ஒரு பாகம், 'அனைத்துலகப் படித்தரக் காண்டில்' எனப்படும். உலகெங்கிலுமுள்ள ஆய்வுக்கூடங்கள், இந்த அடிப்படையில் கணக்கிட்ட சில இரண்டாம் நிலைப் படித்தரங்களையும் வரையறுத்துக்கொண்டிருக்கின்றன.

ஒரு புள்ளி ஒளி மூலத்திலிருந்து குறிப்பிட்ட தொலைவிலுள்ள ஒரு வட்டப் பரப்பின்மேல், ஒளி விழுமாயின், அந்த ஒளிக்கதிர்களின் அமைப்பு ஒரு கூம்பாகத்தான் இருக்க முடியும். மேலும், ஒளிப் பொருளிலிருந்து வெளிப்படும் ஒளிச்சக்தி எல்லாத் திசைகளிலும் சீராகப் பரவுவதால், ஒரு பரப்பின்மேல் விழும் ஒளியின் அளவு, அந்தப் பரப்பு ஒளிர் பொருளுக்குக் கொண்டிருக்கும் திண்மைக் கோணத்தை (solid angle) பொறுத்துத்தான் இருக்க முடியும்.

1·6. திண்மைக் கோணம் (Solid angle): படம் 1·5ல் AB என்ற வட்டவில் Oஐ மையமாகவும் OBஐ ஆரமாகவும் கொண்டு வரைந்த வட்டத்தின் பகுதியானால்,

$$\widehat{AOB} = \frac{AB}{OB} \text{ ஆகும்.}$$

இதே $\widehat{AOB}$ கோணத்தைக் கொடுக்கக்கூடிய BC என்ற மற்றொரு கோட்டை எடுத்துக்கொள்வோம்.




படம் 1·5

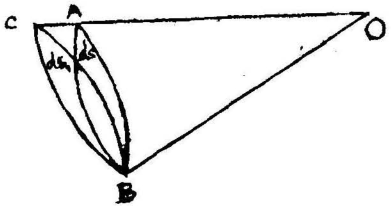
AB-க்கும் BC-க்கும் இடையே உள்ள கோணம் $\theta$ என்றால்,

$$AB = BC \cos\theta$$

$$\text{ஆகையால், } \widehat{AOB} = \frac{AB}{OB} \text{ என்பது,}$$

$$= \frac{BC\cos\theta}{OB} \text{ என்றாகும்.}$$

BC என்ற நேர்க்கோட்டிற்குப் பதிலாக BC என்ற ஒரு பரப்பை எடுத்துக் கொள்வோம் (படம் 1·6). $ds_1$ என்ற இந்தப் பரப்பின் ஓரங்களை O-வுடன் இணைத்தால், O-வை, உச்சியாகக் (Vertex) கொண்ட OBC என்ற கூம்பு கிடைக்கும். இதில் $\widehat{BOC}$ என்பது திண்மைக்கோணம். O-வை மையமாகவும், OB-யை ஆரமாகவும் கொண்ட ஒரு கோளம் வரைந்தால், கோளப் பரப்பின் AB என்ற பகுதி, வட்ட மையத்தோடு அமைக்கும் திண்மைக் கோணம், BC என்ற பரப்பு அமைக்கும் திண்மைக் கோணத்தின் அளவேயாகும். AB, BC இவைகளின் பரப்புகள் முறையே, ds, $ds_1$ என்றும், இவைகளுக்கிடையே உள்ள கோணம் $\theta$ என்றும் கொண்டால்,




படம் 1·6

$$ds = ds_1 \cos\theta$$

ds,ன் திண்மைக்கோணம் $= \dfrac{ds_1 \cos\theta}{OB^2}$

கோளப்பரப்பு முழுதும், கோள மையத்தில் அமைக்கும் திண்மைக் கோணம்,

$$= \Sigma \frac{ds}{OB^2} = \frac{4\pi r^2}{r^2} \quad \text{ஆகும்.}$$

**1·7. ஒளிவிளக்கச் செறிவு** (Luminous Intensity—L) : ஓர் ஒளி மூலத்தின் மொத்த ஒளி விளக்கப் பாயம் F என்று கொள்வோம். ஒளி மூலத்தின் $w$ திண்மைக்கோணம் கொண்ட ஒரு பரப்பின் மேல், இந்த ஒளிச்சக்தி விழுமாயின் $\frac{F}{w}$ என்பது, அந்தப் பரப்பின் ஒளி விளக்கச் செறிவு அல்லது ஒளிவீசு திறன் எனப்படும்.

$$\text{ஒளிவிளக்கச் செறிவு} = \frac{\text{மொத்த ஒளிவிளக்கப் பாயம்}}{\text{திண்மைக் கோணம்}}$$

$$L = \frac{F}{w}$$

அல்லது $F = Lw$ ஆகும்.

ஒளி மூலத்தின் மொத்தத் திண்மைக் கோணம் $4\pi$ ஆதலால் மொத் ஒளிவிளக்கப் பாயம்,

$$F = 4\pi \cdot L \text{ ஆகும்.}$$

ஒளிவிளக்கச் செறிவின் அலகு ஒரு லூமன் (lumen) எனப்படும்.

ஒரு நொடிக்கு ஒரு கான்டில் பவர் அளவு ஒளிவீசும் சீரான ஒரு புள்ளி ஒளி மூலத்திலிருந்து, ஓர் அலகு திண்மைக்கோணம் உடைய (ஒரு செ. மீ. தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ள 1 ச. செ. மீ. அளவுள்ள) பரப்பின்மீது விழும் ஒளியின் அளவு ஒரு லூமன் எனப்படும்.

1·8. ஒளி விளக்கம் (Illumination or Intensity of illumination) மொத்த ஒளி விளக்கப் பாயம் F உடைய ஓர் ஒளி மூலத்திலிருந்துவரும் ஒளி A அலகுடைய ஒரு பரப்பின்மீது விழுந்தால்,

அந்தப் பரப்பின் ஒளி விளக்கம் $\frac{F}{A}$ ஆகும்.

$$\text{ஒளிவிளக்கம் } I = \frac{F}{A}$$

R ஆரம் உடைய ஒரு கோள மையத்தில், F அளவு மொத்த ஒளி விளக்கப் பாயம் உடைய ஒரு புள்ளி ஒளிமூலம் வைக்கப்பட்டிருந்தால், அந்தக் கோளப்பரப்பில் ஒவ்வொரு ச. செ. மீ. பரப்பிலும் ஏற்படும் ஒளி விளக்கம்,

$\frac{F}{4\pi R^2}$ ஆகும். Rன் அளவு 1 செ. மீ. ஆனால்,

$$\text{ஒளிவிளக்கம்} = \frac{F}{4\pi}$$

ஒளி விளக்கத்தின் அலகுகள்:

ஒரு லூமன்/ச. செ. மீ. = 1 ஃபோட் (phot)

ஒரு லூமன்/ச. அடி = 1 அடிக்காண்டில் (foot candle)

1·9. லாம்பெர்ட்டின் ஒளி விளக்க விதிகள் (Lambert's Law of illumination)

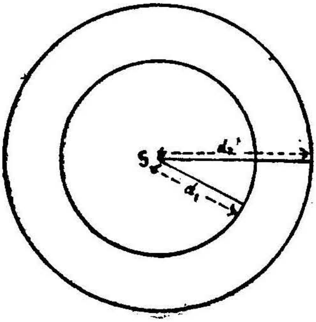
(அ) எதிர் இருமடி விதி (Inverse square law): S என்ற ஒரு புள்ளி ஒளிமூலத்தின் ஒளிவிளக்கச் செறிவு L ஆக இருக்கட்டும். (படம் 1-7.) ஒரு நொடியில் இந்த ஒளிமூலம் வெளியிடும் ஒளி ஆற்றல் அல்லது மொத்த ஒளி விளக்கப் பாயம், $F = LW = 4\pi L$ ஆகும். $d_1$ ஆரமுடைய ஒரு கோளத்தின்

பரப்பில் இந்த ஒளி விழுந்தால், கோளத்தின் பரப்பில் விழும் ஒளியின் அளவுதான் ஒளி விளக்கம் $I_1$ ஆகும்.

$$I_1 = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{4\pi L}{4\pi d_1^2}$$

$$= \frac{L}{d_1^2}$$



படம் 1·7

இதுபோலவே S என்ற புள்ளி ஒளி மூலத்திலிருந்து ஒளி ஆற்றல் $d_2$ ஆரமுடைய கோளத்தின் பரப்பில் விழுந்தால், அந்தப் பரப்பில் ஏற்படும் ஒளி விளக்கம்,

$$I_2 = \frac{4\pi L}{4\pi d_2^2}$$

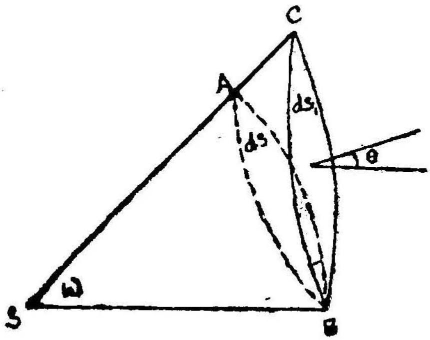
$$= \frac{L}{d_2^2} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே, ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் ஒளி விளக்கம், அந்தப் புள்ளியில் இருந்து, ஒளிமூலம் இருக்கும் தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

$$\propto \frac{1}{d^2}$$

இதுவே லாம்பெர்ட்டின் இருமடி விதி எனப்படும்.

(ஆ) கொசைன் விதி (cosine law): S என்ற ஒரு புள்ளி ஒளிமூலம் L ஒளி விளக்கச் செறிவுடையதாக இருக்கட்டும். $ds_1$ பரப்புடைய BC என்ற ஒரு தளத்தில், S லிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் விழுகின்றன. (படம் 1·8). AB என்பது SBயை ஆரமாகக் கொண்டு வரையப்பட்ட கோளப் பரப்பில் ஒரு பகுதியாகும். AB யின் பரப்பு ds ஆக இருக்கட்டும். BCயும் ABயும் Sக்கு ஒரே திண்மைக்



படம் 1·8

கோணம் (*w*) கொண்டதாய் இருக்கும். இந்த இருதளங்களுக் கிடையே உள்ள கோணம் $\theta$ ஆனுல்,

$$ds = ds_1 \cos \theta$$

AB-யில் ஒளிவிளக்கம் $I = \frac{F}{ds}$

$$= \frac{Lw}{ds}$$

ABயின்மீது விழும் ஒளிச்சக்தியின் அளவுதான் BCயின் மீதும் விழுவதால், BC என்ற பரப்பின் ஒளிவிளக்கம் $= \frac{Lw}{dsC}$

$$= \frac{Lw}{ds/\cos\theta}$$

$$= \frac{Lw \cos\theta}{ds} = \frac{L\cos\theta}{d^2}$$ ஆகும். $[\because \frac{ds}{w} = d^2 = (SB)^2]$

எனவே, ஒரு தளம், ஒளி மூலத்திலிருந்துவரும் ஒளிக்கற்றைக்கு நேர்க்குத்தாக இராமல், சாய்தன்மை உடையதாக இருந்தால், சாய்தன்மை அதிகரிக்க அதிகரிக்க, அந்தப் பரப்பின் ஒளிவிளக்கமும் குறையும். இதனை லாம்பெர்டின் கொசைன் விதி என்கிறோம்.

1·10. ஒளிமானிகள் இயங்கும் முறை: ஒளிமானி, ஒளி மூலத்தின் ஒளிவீசு திறனை அனைத்துலக காண்டில் அலகில் அளவிடும் கருவியாகும். இந்த அளவீடு, ஒரு படித்தா ஒளி மூலத்தின் ஒளிவீசு திறனோடு ஒப்பிடும் முறையைக் கையாளுகிறது. இரு ஒளி மூலங்களுக்கும் ஒரே அளவு சாய்வுத்தன்மையுடைய ஒரு வெண்திரையில், இவ் விரு ஒளி மூலங்களிலிருந்து விழும் ஒளிச் சத்தியின் ஒளிவிளக்கம் ஒரே அளவாக அமையுமாறு, அந்தப் பொருள்களின் தொலைவுகளை அமைத்தால்,

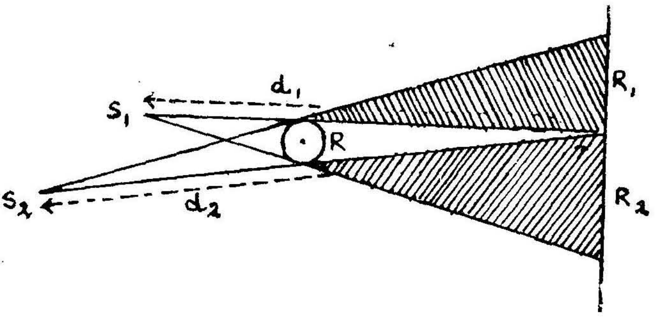
$$I = \frac{L_1 \cos\theta}{{d_1}^2} = \frac{L_2 \cos\theta}{{d_2}^2}$$

$$\therefore \quad \frac{L^1}{L^2} = \frac{{d_1}^2}{{d_2}^2}$$

ஒளிவிளக்கம் சமமாக இருப்பதைக் கண்களைக் கொண்டுதான் வரையறுக்கவேண்டுமாதலால், இந்த முறையில் ஓரளவு, அள வீட்டுப் பிழை ஏற்படுவதைத் தவிர்க்க இயலாது.

1·11. ஒளிமானிகள் — (1) ரம்ஃபோர்டு ஒளிமானி (Rumford Photometer): $S_1$, $S_2$ என்ற இரு ஒளிமூலங்களின் ஒளிவீசு

திறன்களை ஒப்பிட வேண்டுமாயின், அவ் விரு மூலகங்களுக்கும் இடையில் படம் 1·9-ல் கண்டவாறு R என்ற ஒரு தடைபொருளை வைப்போம். அதன் முன்பு PQ என்ற ஒரு வெண்திரையை வைத்து, இந்தத் திரையில் விழும் தடைபொருளின் நிழல்கள் அருகருகே இருக்குமாறு, ஒளிமூலகங்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவை அமைத்துக்கொள்ளவேண்டும்.




படம் 1·9

$S_1$ என்ற ஒளி மூலத்திலிருந்து வரும் ஒளி தடுக்கப்படுவதால், $R_2$ என்ற பகுதியில், R-ன் நிழல் விழுந்தாலும் $S_2$வின் ஒளியால் $R_2$ என்ற பகுதியில் ஒளி விளக்கம் இருக்கும். அதுபோலவே $R_1$ என்ற பகுதியில், $S_2$வின் ஒளி தடுக்கப்பட்டாலும், $S_1$லிருந்து வரும் ஒளி, அந்தப் பரப்பில் ஒளி விலக்கத்தைக் கொடுக்கிறது. எனவே, $R_2$ என்ற பரப்பில் ஏற்படும் ஒளிவிளக்கம், $S_2$ என்ற ஒளி மூலத்தின் ஒளிவீசு திறனும், $R_1$ என்ற பரப்பில் ஏற்படும் ஒளி விளக்கம் $S_2$ என்ற ஒளி மூலத்தின் ஒளி வீசு திறனும் உண்டாவனவாகும் $S_1$ ஐயும் $S_2$ ஐயும் முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி இவ் விரு பகுதிகளிலும் ஒரே அளவு ஒளிவிளக்கம் இருக்குமாறு செய்தால்,

$$\frac{L_1}{d_1^2} = \frac{L_2}{d_2^2}$$

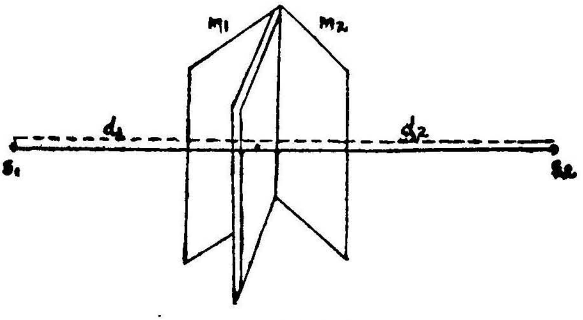
$$\therefore \quad \frac{L_1}{L_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

(2) புன்சன் ஒளிமானி (Bunsen Photometer): ஒரு வெண்மையான தாளைச் செங்குத்தாக நிறுத்தி, அதன் நடுவில் ஒரு சிறிய வட்டப் பகுதியில் கிரீஸ் என்ற பசையை ஓரளவு தடவவும். இந்தப் பசை தடவிய பகுதி, தாளின் மற்றப் பகுதிகளைவிட அதிக அளவுக்கு ஒளிகடத்துத் திறன் உடையதாக இருக்கும். இந்தத்

திரையின் ஒரு பக்கத்தில், ஒப்பிடவேண்டிய இரு ஒளி மூலகங்களில் ஒன்றை, குறிப்பிட்ட ஒரு தொலைவில் ( $d_1$ ) வைக்கவும்; மற்றொரு ஒளி மூலத்தை, திரைக்கு மறுபக்கத்தில் வைத்து முன்னோக்கி அல்லது பின்னோக்கி நகர்த்தி, எந்த இடத்தில் அது வைக்கப் பட்டால் திரையில் பசை தடவிய இடம் மற்ற இடங்களிலிருந்து வேறாகத் தனித்துத் தெரியாமல் ஒன்றித் தெரிகிறதோ, அங்கே நிறுத்தவும். $S_1$, $S_2$ என்ற இரு ஒளிமூலங்கள் மற்றும் பசைதடவிய பகுதி இவை மூன்றும் ஒரே நேர்க்கோட்டில் இருக்கவேண்டும். (படம் 1·10) திரையின் இருபக்கங்களிலும் இருந்து பார்த்தால், பசை தடவிய இடம் மற்ற இடங்களுடன் ஒன்றித் தெரியவேண்டும். இரு பக்கங்களையும் ஒரே நேரத்தில் காண, இரு சமதள ஆடிகளைச் சரியான கோணத்தில் அமைத்து நிறுத்திக் கொள்ளலாம். தரையில் இருந்து இரண்டாம் ஒளிமூலத்தின் தொலை, $d_2$ ஆகவிருந்தால், இரு ஒளி மூலங்களும் திரையில் ஒரே அளவு ஒளி விளக்கத்தை ஏற்படுத்துவதால், $\frac{L_1}{{d_1}^2} = \frac{L_2}{{d_2}^2}$ ஆகும்.

அல்லது,

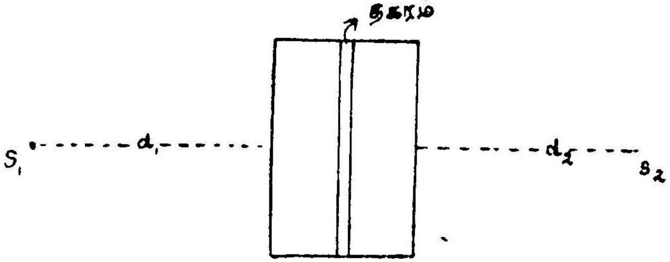
$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{{d_1}^2}{{d_2}^2}$$




படம் 1·10

(3) ஜாலியின் பாரஃபின் மெழுகு ஒளிமானி (Jolly's Paraffin Photometer): புன்சன் ஒளிமானியில், பசை தடவிய பகுதி அதிக அளவு ஒளியை உட்கவரும் காரணத்தால், அந்தப் பகுதியின் ஒளி, தாளின் மற்றப் பகுதிகளில் உள்ள ஒளியோடு ஒன்றும்படி சரி செய்வது கடினம் என்பதே மிகப்பெரிய குறையாகும். எனவே, புன்சன் ஒளிமானியைக் கொண்டு சிறிய ஒளிவிளக்க வேறுபாடு களைத் துல்லியமாகக் காண இயலாது. ஜாலியின் ஒளிமானியில் இந்தக் குறை நீக்கப்பட்டுள்ளது.

ஒரே கன அளவுள்ள இரு பாரபின் மெழுகுக் கட்டிகளை எடுத்துக்கொண்டு, அவைகளுக்கிடையே ஓர் ஒளிபுகா தகரத் தட்டை வைத்துப் பிறகு அவை ஒன்றோடு ஒன்று ஒட்டி வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன (படம் 1·11).




படம் 1 11.

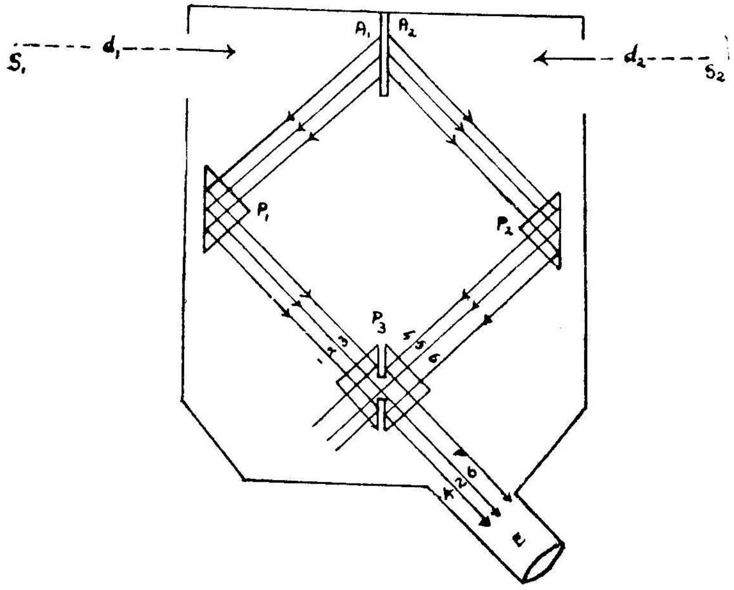
ஒப்பிடவேண்டிய இரு ஒளி மூலங்களையும் பாரபின் மெழுகின் பக்கத்துக்கு ஒன்றுக வைத்து, மெழுகின் பரப்புகளிலிருந்து அவற்றின் தொலைவுகளைச் சரிசெய்து, மெழுகின் இரு பக்கங்களிலும் ஒரேயளவு ஒளிவிளக்கம் ஏற்படுமாறு செய்யவேண்டும். இந்த இரு தொலைவுகளும் முறையே, $d_1$, $d_2$ எனில், முன்கூறியபடி

$$\frac{L_1}{L_2}=\frac{d_1^2}{d_2^2}$$ ஆகும்.

(4) லம்மர்-ப்ரோடன் ஒளிமானி (Lummer-Brodhun Photometer): இரு ஒளி மூலங்களின் ஒளிவீசு திறன்களை ஒப்பிட, அவ்வொளி மூலங்களிலிருந்துவரும் கதிர்களை வெண்திரை ஒன்றில் விழச்செய்து, அங்கு அவற்றின் ஒளி விளக்கங்கள் சமமாக இருக்குமாறு ஒளி மூலங்களின் தொலைவுகளைச் சரிசெய்வதே, இதுவரை நாம் கண்டமுறை. இரண்டிலுைம் ஏற்படும் ஒளி விளக்கங்கள் அருகருகே இல்லாவிடில், அவை ஒத்த அளவு உடையனவா எனக் காண இயலாது. லம்மர்-ப்ரோடன் ஒளிமானியில் ஒளி விளக்கங்கள் சமமான அளவில் இருக்கின்றனவா என்பதைத் துல்லியமாகக் காண வழிவகுக்கப்பட்டிருக்கிறது.

ஒப்பிடவேண்டிய, $S_1$, $S_2$ என்ற இரு ஒளி மூலங்களும் அவற்றிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் ஒரு திரையின் (A A) இரு பக்கங்களிலும் விழும்படி பக்கத்துக்கு ஒன்றுக வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. திரையின் இரு பக்கங்களிலும் ஒளியைச் சிதறவைக்கும் தன்மை பொருந்திய மக்னீசியம் கார்பனேட் என்ற பொருள் சீரான படலமாகத் தடவப்பட்டிருக்கிறது இவ் விரு பக்கங்களிலிருந்தும்

சிதறிய ஒளி படம் 1·12-ல் காட்டியவாறு. $P_1$, $P_2$ என்ற இரு சம பக்க முப்பட்டகங்கள் இரண்டிலும் விழுந்து, $P_3$-யை அடைகிறது. $P_3$ என்பது நடுப்பாகத்தில் மட்டும் இணைக்கப் பட்டும், ஏனைய பகுதிகள் ஒட்டாமல் ஒரு மெல்லிய காற்றுப் படலத்தினல் பிரிக்கப்பட்டும் உள்ள, இரு சம பக்க முப்பட்டகங்கள் இரண்டின் கூட்டமைப்பாகும்,

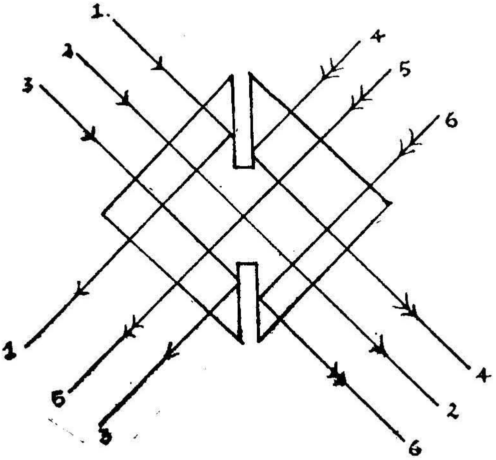



படம் 1·12

இந்த அமைப்பின் மையப்பகுதியின் வழியாகச் செல்லும் 2, 5 போன்ற கதிர்கள் திசைமாருமல் நேராகச் செல்கின்றன. (படம் 1·13) ஓரப்பகுதி வழிசெல்லும் 1, 3 கதிர்களும், 4, 6 போன்ற கதிர்களும் முப்பட்டகத்தின் கர்ணம் அமைந்துள்ள தளத்தில் மாறுநிலை கோணத்தைவிட (critical angle) அதிகமான படு கோணத்தில் விழுவதால், அவை முழு அக எதிரொளிப்புமூலம் எதிரொளிக்கப்பட்டு 90° திசை திருப்பப்படுகின்றன. இந்த முப்பட்டகக் கூட்டமைப்பிலிருந்து வரும் விடுகதிர்களை E என்ற கண்ணருகுக் கருவி (eye-piece) ஒன்றின்மூலம் பார்க்கும்படி ஒளிமானி அமைக்கப்பட்டுள்ளது.

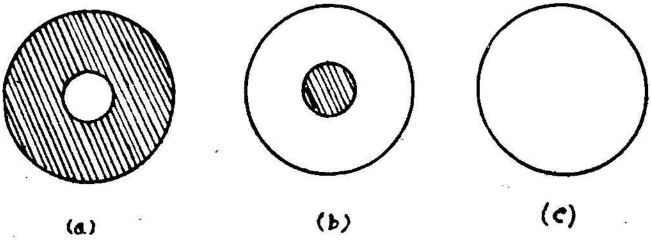
ஆகவே, E-யின் வழிபார்த்தால், $S_1$-லிருந்து வரும் ஒளிக் கதிர்கள் ஒரு சிறிய வட்டமாகவும், $S_2$-யிலிருந்து வரும் கதிர்கள்

வளைய வடிவமாக இந்த வட்டத்தைச் சுற்றியும் நம் கண்களுக்குத் தெரியும். திரையின் $A_1$, பக்கத்திலிருந்து சிதறிய ஒளியினால்




படம் 1·13

ஏற்படும். ஒளிவிளக்கம் திரையின் $A_2$ பக்கத்திலிருந்து வரும் ஒளியினால் ஏற்படும் ஒளி விளக்கத்தைவிட அதிகமாக இருந்தால், படம் 1·14 a-யில் காட்டியபடியும், $A_2$ பக்கத்திலிருந்து வரும் ஒளியினால் ஏற்படும் ஒளிவிளக்கத்தைவிடக் குறைவாக இருந்தால், படம் 1·14 b-ல் காட்டியவாறும் தோன்றும். இரண்டு பக்கங்களிலிருந்தும் வரும் ஒளியினால் ஏற்படும் ஒளிவிளக்கம் ஒரே அளவாக இருக்குமானால், படம் 1·14 C-ல் காட்டியவாறு நம் கண்களுக்குத் தெரியும்.



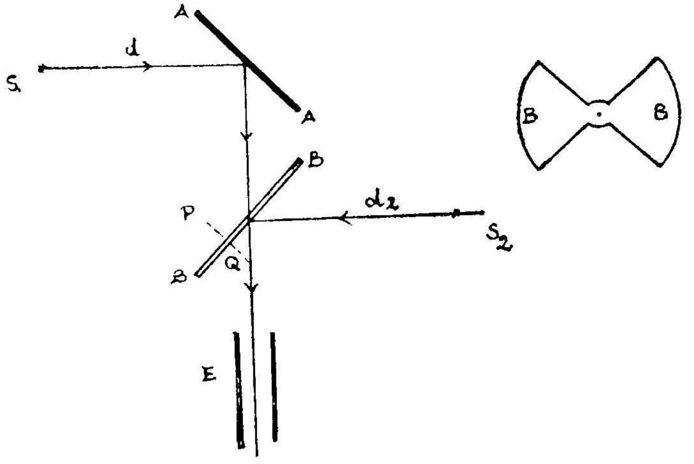

படம் 1·14

எனவே, $A_1$, $A_2$ பக்கங்களிலிருந்து, $S_1$, $S_2$ வைக்கப்பட்டிருக்கும் தொலைவுகளைச் சரிசெய்து கண்ணருகுக் கருவியின்

மூலம் பார்க்கும்பொழுது ஒளி ஒரேவட்டமாகப்படம்1·14c-ல்காட்டிய வாறு இருக்கும்படி அமைத்துக்கொள்ளுதல் வேண்டும். இந்தத் தொலைவுகள் முறையே $d_1$, $d_2$ என இருந்தால்,

$$\frac{L_1}{L_2}=\frac{d_1^2}{d_2^2}\text{ ஆகும்.}$$

(5) இமைத்தல்முறை ஒளிமானி (Flicker Photometer) : லம்மர் ஃப்ரோடன் ஒளிமானி உட்பட, முன்பு குறிப்பிட்ட எல்லா ஒளிமானிகளையும்கொண்டு வெவ்வேறு நிற ஒளி தரக்கூடிய இரு ஒளி மூலங்களின் ஒளி வீசு திறன்களை ஒப்பிட இயலாது. அவ்வாறு ஒப்பிட, இமைத்தல் முறை ஒளிமானி ஒன்றைப் பயன்படுத்தலாம். இந்த ஒளிமானி செயல்படும் முறையை படம் 1·15 விளக்குகிறது.




படம் 1·15

$S_1$ என்ற ஒளி மூலத்திலிருந்துவரும் ஒளிக்கதிர்கள் AA என்ற திரையில் விழுந்து ஒளிச்சிதறல்மூலம் E என்ற கண்ணருகுக் கருவியை வந்தடைகின்றன. BB என்ற மற்றொரு திரை AAக்கு 90° சாய்ந்து P என்ற இடத்தில் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றது. இந்தத் திரை படம் 1·15-ல் காட்டியபடி சம அளவுள்ள இரு வட்டக்கோண பரப்பாக இருக்குமாறும், அதே அளவுள்ள பரப்பு வெட்டி எடுக்கப்பட்டதாகவும் இருக்கும். PQ-வை அச்சாகக் கொண்டு BB என்ற இந்தத் திரை சுழல இயலும். $S_2$ என்ற மற்றொரு ஒளி மூலத்திலிருந்துவரும் ஒளி BBயில் விழுந்து ஒளிச் சிதறல் மூலம் E-யை வந்தடையும். BB-யைச் சுழற்றினால் Eயின்

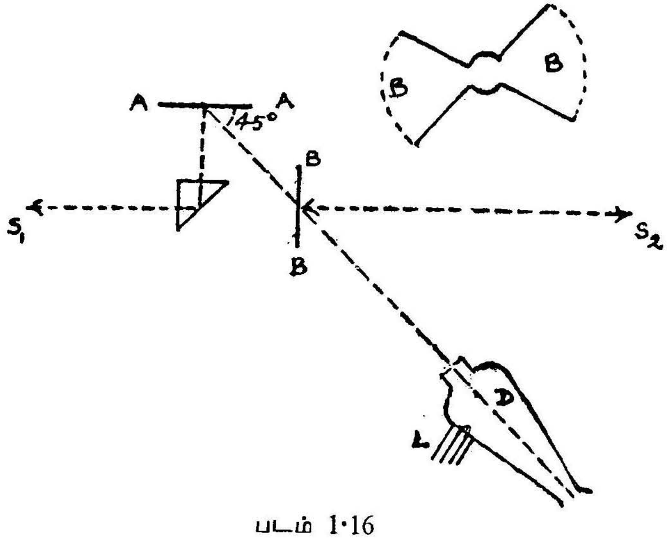
மூலம் பார்க்கும் நம் கண்களுக்கு AA என்ற திரையின் பரப்பும், BB என்ற திரையின் பரப்பும் மாறிமாறித் தெரியும். இவ் விரண்டு பரப்புகளிலிருந்து E-யை வந்தடையும் ஒளியினால் ஏற்படும் ஒளிவிளக்கங்கள் வெவ்வேறாக இருந்தால், E-ல் ஒளி விளக்கம் இமைத்தலுறும். இந்த இமைத்தல் மறைந்து, E-ல் ஒளி விளக்கம் ஒரே அளவு இருக்குமாறு இரு ஒளி மூலகங்களின் தொலைவுகளையும் சரிசெய்து அவைகளின் ஒளி வீசுதிறன்களை ஒப்பிடலாம்.

இமைத்தலின்றி ஒளி விளக்கம் இருக்கும்பொழுது ஒளி மூலங்களின் தொலைவுகள் முறையே $d_1$, $d_2$ எனின்,

$$\frac{L_1}{L_2}=\frac{d_1^2}{d_2^2}$$

நிறவேறுபாடு அதிகமாக இருப்பின், BB என்ற திரையின் சுழற்சி வேகத்தை அதிகமாக்கிக் கொள்ளவேண்டும்.

(6) கில்டு இமைத்தல்முறை ஒளிமானி (Guild's Flicker Photometer): இமைத்தல் முறையில் அமைக்கப்படும் ஒளிமானியின் திறன் அதிகரிக்க வேண்டுமாயின், (1) இரு திரைகளிலும் ஒளிவிளக்கங்கள் மிக அதிகமாக இருக்கவேண்டும். (2) இந்தத்



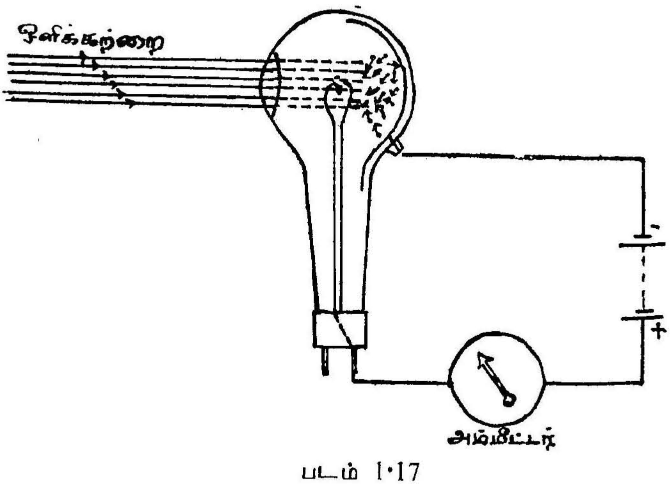

படம் 1·16

திரைகளின் பார்வை புலன் (field of view) மிகச் சிறியதாக அமையவேண்டும். (3) இரு ஒளிவீசு திறன்களையும் ஒப்பு நோக்குகின்ற இடத்தில் ஒளிவிளக்கம் அதிகமாக இருக்க வேண்டும்.

இவைகளைக் கருத்திற்கொண்டு கில்டு என்பவர் ஒரு ஒளிமானியை அமைத்தார். இந்த ஒளிமானியின் அமைப்பைப் படம் 1·16. விளக்குகிறது. $S_1$ என்ற ஒளி மூலத்திலிருந்துவரும் ஒளி ஒரு முழு அக எதிரொளிப்பு முப்பட்டகத்தின் வழியாக AA என்ற திரையில் நேர்க்குத்தாக விழுகிறது. AA-யிலிருந்து ஒளிச்சிதறல் மூலம் கிடைக்கும் ஒளியும் $S_2$ என்ற ஒளி மூலத்திலிருந்து, BBயில் ஒளிச்சிதறல் அடைந்து கிடைக்கும் ஒளியும், D என்ற பெட்டியை 45° கோணத்தில் வந்தடைகிறது. D என்ற பெட்டியினுள் ஒரு சிறிய 4 வோல்ட் மின்விளக்கு (L) மறைமுகமாகப் பொருத்தப்பட்டு பார்வை இடத்தில் தேவையான வெளிச்சத்தைக் கொடுக்கிறது.

AA என்ற வெண்திரையில் விழும் $S_1$ன் ஒளியும், BB என்ற திரையில்விழும் $S_2$ன் ஒளியும் BB-யைச் சுழற்றும்பொழுது மாறி மாறிப் பார்வைப் புலனில் தெரிகிறது. ஒளியின் இமைத்தல் மறையுமாறு இரு ஒளி மூலங்களின் தொலைவுகளைச் சரிசெய்து, அவற்றின் ஒளிவிளக்கச் செறிவுகளை ஒப்பிடலாம்.

(7) ஒளிமின் ஒளிமானி (Photo electric Photometer) : இது ஒளிமின் விளைவை ஒட்டிச் செயல்படுகிறது. குறிப்பிட்ட அலை நீளமுடைய ஒளிக்கதிர்கள் சில தனிமங்களின்மீது விழும்போது, அதனின்று எலக்ட்ரான்கள் வெளியேற்றப்படுகின்றன. அனேக




படம் 1·17

மாக எல்லாப் பொருட்களும் புற ஊதாநிறக் கதிர்கள் அவற்றின் மீது படும்பொழுது எலக்ட்ரான்களை வெளியேற்றுகின்றன. இந்த எலக்ட்ரான்கள் படம் 1·17-ல் காட்டியவாறு நேர்மின் வாயை அடைந்து மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்துகின்றன. இந்த

மின்னோட்டத்தை ஓர் அம்மீட்டர் உதவியைக் கொண்டு அறியலாம்.

இந்த மின்னோட்டம், தனிமத்தின் பரப்பில் உண்டாகும் ஒளிவிளக்கத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது. எனவே, ஏதாவதொரு படித்தர மூலத்தின் உதவிகொண்டு மின்னோட்டத்தைக் கணக்கிட்டுக்கொண்டு, அதனின்று, கொடுக்கப்பட்ட எந்த ஒளி மூலத்தின் ஒளிவீசுத் திறனையும் கண்டுகொள்ளலாம்.

### மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) 20 காண்டில் பவர் உள்ள ஒரு விளக்கு, 6 அடி பக்கமுள்ள ஒரு சதுர மேசையின் நடுவில் 4 அடி உயரத்தில் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிறது. மேசையில் நடுப்பாகத்திலேயும், அதன் ஓரங்களிலும் ஏற்படும் ஒளிவிளக்கம் காண்:

விடை

மேசையின் நடுவில்

$$L = 20$$
$$d = 4$$
$$\theta = 0$$
$$\therefore \quad = \frac{L\cos\theta}{d^2} = \frac{20 x 1}{16}$$
$$= 1{\cdot}25$$ ஃபுட்காண்டில்

மேசையின் ஓரங்களில்

$$L = 20$$
$$d = \sqrt{4^2+3^2} =$$
$$\therefore \cos\theta = \frac{4}{5}$$
$$\therefore I = \frac{L\cos\theta}{d^2} = 20 \times \frac{4}{5} \times \frac{1}{25}$$
$$= 0{\cdot}4$$ அடிக்காண்டில்

(2) முறையே, 100, 64 காண்டில் பவர் உள்ள இரு மின் விளக்குகள் 90 செ. மீ. இடைவெளியில் உள்ளன. அவைகளுக்கு இடையே எந்தப் புள்ளியில் இவ் விரு விளக்குகளாலும் சம அளவு ஒளிவிளக்கம் ஏற்படும்.

விடை

100 காண்டில் பவர் உள்ள விளக்கிலிருந்து $x$ செ. மீ. தொலைவில், இரு ஒளி விளக்கங்களும் சம அளவு என்று கொள்வோம்.

$$\frac{100}{x^2} = \frac{64}{(90-x)^2}$$

$$\frac{100}{64} = \frac{x^2}{(90-x)^2}$$

$$\frac{10}{8} = ( \frac{x}{\quad}$$

$\therefore\ x = 50$ அல்லது 450

எனவே, 100 காண்டில் பவர் உள்ள விளக்கிலிருந்து 50 செ. மீ. தொலைவில், மற்றொரு விளக்கு மிடையிலும் இரு விளக்குகளுக்கும் அப்பால், 100 காண்டில் பவர் விளக்கிலிருந்து 450 செ. மீ. தொலைவிலும் ஒரே அளவு ஒளிவிளக்கம் ஏற்படுகிறது.

## பயிற்சி

1. மொத்த ஒளிவிளக்கப் பாயம், ஒளிவிளக்கச் செறிவு, ஒளி விளக்கம், இவைகளுக்கிடையே உள்ள சார்புடைமையை விளக்குக.

2. லாம்பர்ட்டின் விதிகளை விளக்குக.

3. லம்மர் ப்ரோடன் ஒளிமானி எவ்வாறு செயல்படுகிறது? அது மற்ற ஒளிமானிகளைவிட எவ்விதத்தில் சிறந்தது?

4. லம்மர் ப்ரோடன் ஒளிமானியில் உள்ள குறைபாடு என்ன? இமைத்தல் முறை ஒளிமானி எவ்வாறு செயல்படுகிறது என்பதை விவரி.

5. 400 காண்டில் பவர் உள்ள விளக்கு ஒன்று இடைமட்டத்திலிருந்து 20 அடி உயரத்தில் இருக்கிறது. இடைமட்டத்தில் விளக்கின் நேர்கீழாகவும், அங்கிருந்து 20 அடி தொலைவிலும் ஒளிவிளக்கங்களைக் காண்.

6. ஓர் ஒளிமானியில் இரு ஒளிமூலங்கள் முறையே 50 செ.மீ. 60 செ. மீ. தொலைவுகளில் சமனப்படுத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இப்பொழுது முதல் ஒளி மூலத்திற்கும் ஒளிமானிக்கும் இடையில் ஒரு கண்ணாடித்தட்டை நுழைத்தால், ஒளிமானியில் இரு மூலங்களிலிருந்தும் உண்டாகும் ஒளிவிளக்கங்களைச் சமன்செய்ய, இரண்

டாவது மூலத்தை மேலும் 5 செ. மீ. நகர்த்த வேண்டியிருக்கிறது. கண்ணாடித்தட்டு கடத்தும் ஒளியின் அளவு என்ன ?

7. இரு ஒளி மூலங்கள் ஒன்றுக்கொன்று 100 செ. மீ. தொலை வில் வைக்கப்பட்டுள்ளன. இவ் விரு மூலங்களின் வீசுதிறன் 9:1 என்ற விகிதத்தில் இருக்கிறது. ஓர் ஒளிமானியை இவ் விரு மூலங்களுக்குமிடையில் எந்தத் தொலைவில் வைத்தால், ஒளிமானி யில் ஏற்படும் ஒளிவிளக்கங்களைச் சமன்செய்ய இயலும் ?

# உ. எதிரொளிப்பு

## (Reflection)

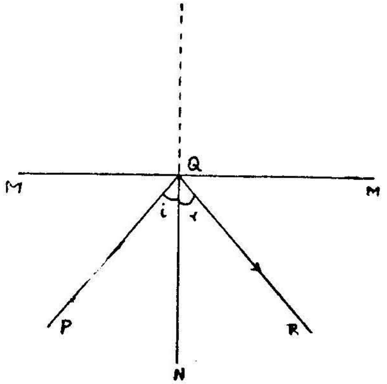
### சமதள எதிரொளிப்பு

2·1. எதிரொளிப்பு : ஓர் ஊடகத்தில் சென்றுகொண்டிருக்கும் ஒளி, மற்றொரு ஊடகத்தின்மேல் விழும்போது, அதன் சக்தியில் ஒரு பகுதி ஒளியாக எதிரொளிக்கப்படும். மீதிப் பகுதி இரண்டாவது ஊடகத்தினுல் உட்கவரப்படும்; அல்லது அந்த ஊடகத்தினுள் ஊடுருவிச் செல்லும். எதிரொளிக்கும் அளவானது அந்த ஊடகத்தின் மேல்தளத்தின் தன்மையைப் பொறுத்திருக்கும். காகிதம், மற்றும் வெள்ளையடிக்கப்பட்ட சுவர் போன்றவை ஒளியைச் சிதறவைப்பதனுல்தான் (scattering of light) நம் கண்களுக்கு அந்தப் பொருள்கள் புலப்படுகின்றன. ஒளி ஓர் ஊடகத்தின் மேல் படும்பொழுது, அந்த ஊடகம் ஓர் ஒளிபுகும் பொருளாக (transparent) இருப்பினும், அதனுடைய மேல்தளத்திலிருந்து ஓரளவாவது எதிரொளிக்கப்படும்.

2·2. எதிரொளிப்பு விதிகள் (Laws of reflection): PQ என்ற ஒளிக்கதிர் MM′ என்ற ஆடியின் மேல்பரப்பில் விழுவதாகக் கொள்வோம். (படம் 2·1).

PQ படுகதிர் என்றும், ஆடிமீது படுகதிர் விழும் இடம் படுகைப் புள்ளி (point of incidence) என்று கூறப்படும். ஆடியில் எதிரொளிக்கப்பட்டு QR திசையில் செல்லும் கதிர் எதிரொளிப்புக் கதிர் எனப்படும். NQ படுதளத்திற்கு படுகைப்புள்ளியில் வரையப்பட்ட நேர்குத்துக்கோடு. கோணம் $\widehat{PQN}$ ஐப் படுகோணம் (i) என்றும், கோணம் $\widehat{NQR}$ஐப் எதிரொளிப்புக் கோணம் 'r' என்றும் கூறப்படும் ஒளியின் எதிரொளிப்பு கீழ்க்கண்ட இரு அடிப்படை விதிகளுக்கு ஏற்ப அமையும் என்பதைச் சில சோதனைகள்மூலம் கண்டறியலாம்.

1. படுகதிர், எதிரொளிப்புக் கதிர், படுகைப் புள்ளியில் படு தளத்திற்கு வரையப்படும் நேர்க்குத்துக்கோடு ஆகிய மூன்றும் ஒரே தளத்தில் அமையும்.



படம் 2·1

2. எதிரொளிப்புக் கோணம் படுகோணத்திற்குச் சமமாக இருக்கும்.

2·3 ஒரு புள்ளிப்பொருளின் பிம்பத்தை ஆடியில் கண்டறிதல்: MM′ என்ற சமதள ஆடியின் முன் O என்ற ஒரு புள்ளிப் பொருள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். (படம் 2·2) எல்லாத் திசைகளிலும் O ஒளியை வீசுகின்றது. O விலிருந்து கிளம்பி ஆடியில் P என்ற புள்ளியில் விழக்கூடிய OP என்ற கதிர் PQ என்ற திசையில் எதிரொளிக்கப்படுகிறது. PN ஒரு நேர்க்குத்துக் கோடாதலால்

$\widehat{OPN} = i = r = \widehat{NPQ}$.

Oவின் பிம்பம் PQ என்ற நேர்கோட்டில் அமையும். மேலும் OM என்ற மற்றொரு கதிர் ஆடியில் நேர்குத்தாக எதிரொளிக்கப் பட்டுப் படுதிசையிலேயே மீள்கிறது. இது நேர்குத்து எதிரொளிப்பு (normal reflection) எனப்படும். நேர்க்குத்து எதிரொளிப்பில் படுகோணமும், எதிரொளிப்புக் கோணமும் சுழி ஆகும். ஆகையால் O-வின் பிம்பம் OM என்ற நேர்கோட்டின்மேலும் அமையவேண்டும். ஆகையால் Oவின் பிம்பமானது OP என்ற நேர்கோடும் OM என்ற நேர்கோடும் சந்திக்கும் இடத்தில்தான் இருக்க முடியும் என்பது தெளிவு. OMஐயும் PQஐயும் பின்னுக்கு நீட்டினுல் அவை O′வில் சந்திக்கும். O′, O-வின் பிம்பமாகும். மேலும், △MOP, △MO′P ஆகிய இரு முக்கோணங்களில், பக்கம் MP இரண்டிற்கும் பொது.

$$\widehat{OMP} = \widehat{O'MP} = 90^\circ$$

$$\widehat{OPM} = 90 - i$$

$$\widehat{O'PM} - M'OQ = 90 - \widehat{NPQ}$$
$$= 90 - r$$
$$= 90 - i$$

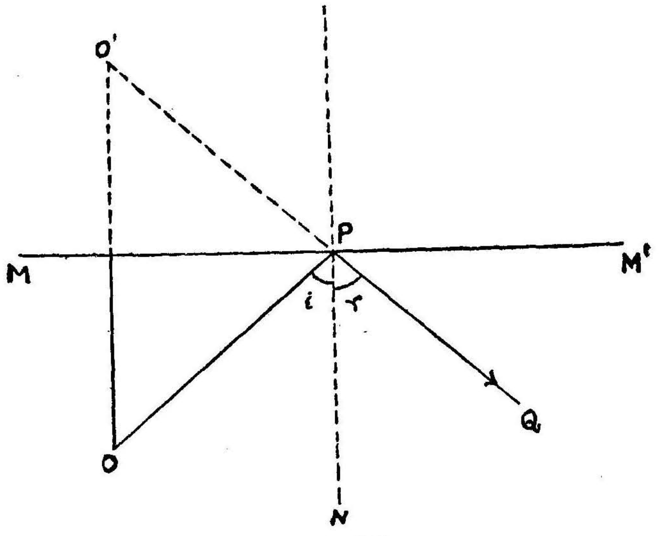
$$\therefore \quad \widehat{OPM} = \widehat{O'PM}$$

எனவே இரு முக்கோணங்களும், முழுதொத்த (congruent) முக்கோணங்கள். அதனால்,

$$OM = OM'$$

ஆகவே,

ஒரு சமதள ஆடியில் தோன்றும் பிம்பம், ஆடியிலிருந்து பொருள் இருக்கும் அதே தொலைவில் ஆடிக்குப் பின் விழுகின்றது. தவிர OO′ ஆடியின் தளத்திற்கு நேர்குத்துக் கோடாக இருக்கும்.




படம் 2·2

2·4 ஃபெர்மெட் விதி (Fermat's Principle): எதிரொளிப்புக் கோணமும், படுகோணமும், சமமாக இருக்கும் என்ற எதிரொளிப்பு

விதியைச் சுமார் இரண்டு நூற்றுண்டுகளுக்கு முன் ஃபெர்மெட் என்பவர் ஒரு பௌதிகக் கொள்கைமூலம் நிரூபித்தார். ஆயினும் கோள ஆடியில் எதிரொளிப்பு, மற்றும் ஒளிவிலகல் போன்ற பௌதிக உண்மைகளையும் சுலபமாக விளக்கத்தக்கவகையில் அவருடைய கொள்கை சிறிதளவு பிற்காலத்தில் மாற்றப்பட்டது. அந்த ஃபெர்மிட் விதியைப் பின்வருமாறு கூறலாம்: "ஒளி ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்ருெரு புள்ளிக்குச் செல்லும் வழி எப்பொழுதும் எல்லைப் பாதையாகவே இருக்கும். அதாவது, பெரும பாதையாகவோ அல்லது சிறும பாதையாகவோ இருக்கும்."

ஒளிப்பாதை என்பது ஒளி செல்லும் பாதையின் தொலைவை (ds) ஊடகத்தின் ஒளி விலகெண் ($\mu$)ணிஞல் பெருக்கிய தொகை யாகும்.

$$\mu \, ds = \text{ஒளிப்பாதை}.$$

'ஒளி செல்லும் பாதையின் மொத்தத் தொலைவு (சிறு சிறு தூரங்களின் கூடுதல் $\int \mu ds$ எப்பொழுதுமே ஒரு எல்லைப் பாதையாக அமையும்." A என்ற புள்ளியிலிருந்து ஓர் ஒளிக்கதிர் B என்ற புள்ளிக்குச் செல்வதாகக் கொள்வோம். அது செல்லும் பாதை எதிரொளிப்பு முறையாகவோ அல்லது ஒளி விலகல் முறையாகவோ இருக்கலாம். ஆயினும் ஒளி, A யிலிருந்து B க்குச் செல்லும் நேரம், 't' இயற்கை விதியின்படி சிறும நேரமாக இருக்கும். வெற்றிடத்தில் ஒளியின் வேகம் C என்ருல் $\frac{\text{ஒளி செல்லும் தொலைவு}}{\text{ஒளியின் திசை வேகம்}}$ = ஒளி செல்லும் நேரம் $\therefore \; t = \frac{\int_A^B \mu ds}{c}$

வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசை வேகம் ஒரு மாறிலி (constant) என்பது ஐன்ஸ்டனின் கூற்று. எனவே, A-யிலிருந்து B-க்கு ஒளி செல்லும் பாதை எப்படியாயினும், ஒளி செல்லும் நேரமும் ஒரு மாறிலியாக இருப்பதால்,

$$\int_A^B \mu ds = \text{ஒரு மாறிலி}.$$

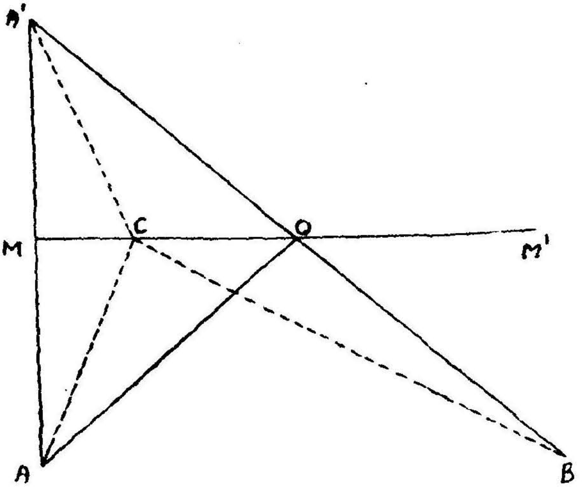
(1) ஃபெர்மெட் விதியும் எதிரொளித்தலும்: 'MM′ என்ற சமதள ஆடியில் A என்ற புள்ளியிலிருந்து ஓர் ஒளிக்கதிர் எதிரொளிப்புமூலம் Bஐ அடையவேண்டும் என வைத்துக் கொள்வோம். (படம் 2·3) படுகோணமும் எதிரொளிப்புக்கோணமும் சமமாக இருக்கக்கூடிய பாதையாக AOB என்ற பாதை அமைவதாக இருக்கட்டும். A′ என்பது Aயின் பிம்பமாஞல் 'AOB ஒரு நேர்கோடாக அமையும். இந்த AOB என்ற பாதைக்கு வெகு அருகில், ஒளி செல்லக்கூடிய மற்ருெரு பாதையாக AC-ஐ எடுத்துக்கொள்வோம். C யை A′ உடன் சேர்த்தால்,

$$AO+OB=A'O+OB$$
$$=A'B$$
$$AC+CB=A'C+CB$$

A'CB என்ற முக்கோணத்தில் முக்கோண விதிகளின்படி

$$A'B < A'C+CB$$

இவ்வாறே வேறு எந்த ஒளிப்பாதையை எடுத்துக்கொண்டும் இதுபோல் நிரூபிக்கலாம் என்பது தெளிவு. எனவே, AOB என்ற பாதைதான் சிறும பாதை. ஃபெர்மெட் விதியின்படி ஒளி, குறைந்த நேரத்தில் செல்லக்கூடிய பாதையிலேயே செல்வதால் A யிலிருந்து எதிரொளித்தல்மூலம் B யை அடைய AOB என்ற பாதையையே நாடுகின்றது. அதாவது $\angle i = \angle r$ என்ற விதியின்படி ஒளி எதிரொளிக்கிறது.

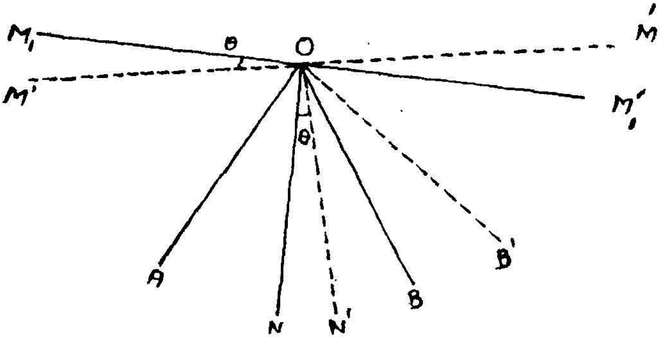



படம் 2·3

2·5 ஆடியின் தளத்தைச் சுழற்றல்: ஒரு சமதள ஆடியை $\theta$ கோண அளவு திருப்பினுல் எந்தவொரு படுகதிரின் எதிரொளிப்புக் கதிரும் $2\theta$ கோண அளவு திருப்பப்படும். MM' என்ற சமதள ஆடியில் (படம் 2·4) AO என்ற படுகதிர் எதிரொளிக்கப்பட்டு, OB என்ற திசையில் மீள்கிறது. படுகைப் புள்ளியாகிய O வி லிருந்து ON என்ற நேர்குத்துக்கோடு வரைந்தால்,

$$\widehat{AON} = \text{படுகோணம்} = i$$

$\widehat{NOB}$ = எதிரொளிப்புக் கோணம் = படுகோணம். எனவே, $AOB = 2i$. படுகதிர் அதே நிலையில் இருக்கும்பொழுது ஆடியை




படம் 2·4

மட்டும் $\theta$ கோண அளவு சுழலச்செய்தால், ஆடி $M_1OM'_1$ என்ற நிலையை அடையும். ON′ புதிய நேர்க்குத்துக்கோடு $\angle NON' = \theta$ நேர்குத்துக்கோடும் $\theta$ கோண அளவு திரும்பியதால் புதிய படுகோணம் $\widehat{AON'} = i + \theta$. இந்தப் படுகதிர் இப்பொழுது OB′ என்ற திசையில் எதிரொளிப்பதாக அமையும். ஆகையால் N′OB′ புதிய எதிரொளிப்புக் கோணமாகும்.

$$AON' = i + \theta = \text{படுகோணம்}$$

எதிரொளிப்புக் கோணம் = N′OB′

$$\text{i.e.} \quad \widehat{AON'} = N'OB' = i + \theta$$

$$\therefore \quad \widehat{AOB'} = 2(i + \theta)$$

$$\text{ஆனால்,} \quad \widehat{AOB} = 2i$$

$$\therefore \quad \widehat{BOB'} = 2\theta \qquad \dots \quad \dots \quad \dots \quad .. \qquad (2{\cdot}1)$$

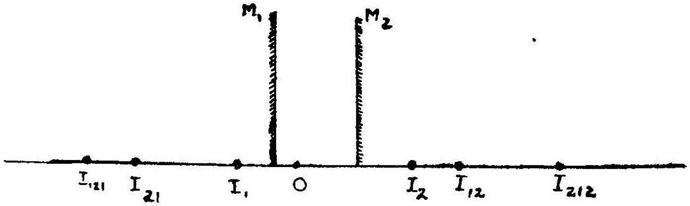
ஆகையால்,

ஒரு சமதள ஆடி எந்தக் கோண அளவு சுழல்கிறதோ, அதுபோல் இருமடங்கு அளவு கொடுக்கப்பட்ட படுகதிரின் எதிரொளிப்புக் கதிர் சுழல்கிறது. மேலும், ஒளி செல்லும் பாதை ஒரு திருப்பத்தக்க பாதை. ஆதலால், ஓர் ஆடி $\theta$ கோண அளவு சுழலும்பொழுது ஒரு குறிப்பிட்ட எதிரொளிப்புக் கதிருக்கான படுகதிர் $2\theta$ கோண அளவு சுழலும் என்றும் கூறலாம்.

மேற்கூறிய உண்மை சிறுகோணங்களைப் பெரிதாக்கி அளப்பதற்கு மிகவும் பயன்படுகிறது.

2·6 பன்முக எதிரொளிப்பு (Multiple Reflection): இரு சமதள ஆடிகளுக்கிடையில் ஒரு பொருள் வைக்கப்படும்பொழுது, அதிலிருந்து புறப்படும் கதிர்கள் நம் கண்களை அடையும் முன், அந்த இரு ஆடிகளிலும் பலமுறை எதிரொளிக்கப்படும். ஒன்றுக்கொன்று ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்தில் சாய்ந்துள்ள இரு சமதள ஆடிகளுக்கிடையில் ஒரு பொருள் வைக்கப்பட்டால், அதில் ஏதாவது ஓர் ஆடியிலிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்டு, ஒரு பிம்பம் தோன்றுகிறது. இந்த பிம்பம், மற்றோர் ஆடியின் முன் வைக்கப்பட்ட பொருளாகச் செயல்பட்டு, இரண்டாவது ஆடியில் இதற்கும் ஓர் எதிரொளிக்கப்பட்ட பிம்பம் தோன்றும். இவ்வாறே, படிப்படியாகப் பல பிம்பங்கள் தோற்றுவிக்கப்படும். இது பலபடி எதிரொளிப்பு என்று கூறப்படும்.

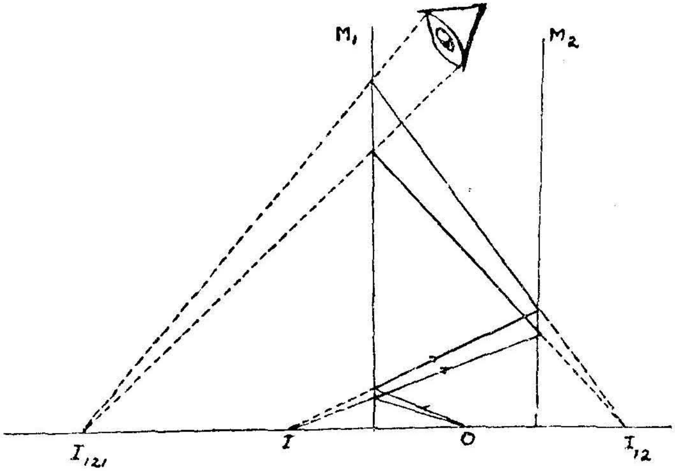
2·7 இணையாடிகள் (Parallel Mirrors): இரு சமதள ஆடிகளில் எதிரொளிப்புத் தளங்கள் ஒன்றையொன்று எதிர் நோக்குமாறும், இணையாகவும் வைக்கப்பட்டால் அவை இணையாடிகள் எனப்படும். O என்ற புள்ளிப் பொருள் $M_1M$ என்ற இரு இணை ஆடிகளுக்கிடையில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது (படம் 2·5.) $M_1$ என்ற ஆடியில் முதல் எதிரொளிப்பு ஏற்படு



படம் 2·5(a)

வதால், $M_1$-க்கு முன் O இருக்கும் தொலைவில், $M_1$ க்குப்பின் $I_1$ என்ற பிம்பம் தோன்றுகிறது. இதைப்போல் O என்ற பொருள் $M_2$ என்ற ஆடியினாலும் எதிரொளிக்கப்பட்டு $I_2$ என்ற ஒரு பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கிறது. மேலும் $I_1$ என்ற பிம்பம் $M_2$என்ற ஆடியின் முன் $M_2I_1$ என்ற தொலைவில் அமைவதால் $M_2$க்குப்பின் அதே தொலைவில் $I_1$ன் பிம்பம் $I_{12}$ வில் அமையும். இதுபோன்றே, $I_2$ என்ற பிம்பம் $M_1$ க்கு முன் $M_1I_2$ என்ற தொலைவில் அமைவதால், $M_1$க்குப்பின் $I_{21}$ல் ஒரு பிம்பம் தோன்றும். Oவிலிருந்து புறப்படும்

கதிர்கள் கண்ணை வந்தடையும் பாதையைப் படம் 2·5(b) விளக்குகின்றது.

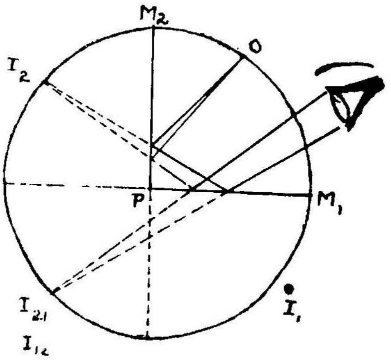



படம் 2·5(b)

எண்ணில் அடங்கா பிம்பங்கள் இவ்வாறு தோன்றுவதற்கு வாய்ப்பு இருப்பினும், ஒவ்வோர் எதிரொளிப்பின்போதும், படுகதிரின் பொலிவு ஓரளவு குன்றுவதால், சில எதிரொளிப்புகளுக்குப்பின், பிம்பங்களின் பொலிவு குன்றிக் கண்ணுக்குப் புலப்படாமல் போய்விடும். ஆகவே, நாம் ஒரு சில பிம்பங்களைத்தான் காண இயலும்.

2·8 குத்துநிலை ஆடிகள் (Perpendicular Mirrors): இரு சமதள ஆடிகள் அவற்றின் எதிரொளிப்புத் தளங்கள் ஒன்றையொன்று நோக்குமாறும், ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாகவும், இருக்கும்படி அமைக்கப்பட்டால், அவை குத்துநிலை ஆடிகள் எனப்படும். படம் 2·6ல் $M_1$, $M_2$ என்ற இரு சமதள ஆடிகள் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாக அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அவற்றிற்கு முன் O என்ற ஒரு புள்ளிப் பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. $I_1$ம், $I_2$வும் முறையே $M_1$ ஆடியிலும், $M_2$ ஆடியிலும் முதலில் எதிரொளிக்கப்பட்ட Oவின் பிம்பங்களாகும். எனவே, $OA=AI_1$ மற்றும் $OB=BI_2$. இந்த $I_2$ என்ற பிம்பம், $M_2$ ஆடிக்குமுன் வைக்கப்பட்டுள்ளதால், இதன் பிம்பம் அதே தொலைவில் $M_1$க்குப் பின் $I_{21}$ என்ற இடத்தில் அமையும். இது போலவே, $I_1$ என்ற பிம்பம் $M_2$ என்ற ஆடியில் எதிரொளிக்கப்பட்டு $M_2$க்குப் பின்னால் ஒரு பிம்பத்தை $I_{12}$ என்ற இடத்தில்

தோற்றுவிக்கும். $I_{12}$ம் $I_{21}$ ஒன்றோடு ஒன்று இணைந்துவிடும் என்பது தெளிவு.

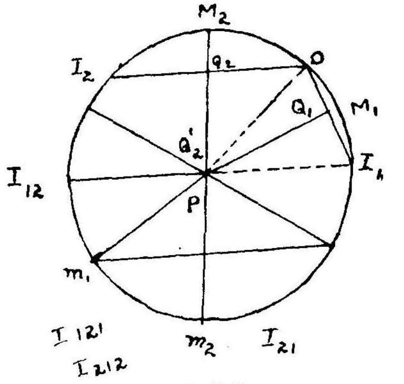



படம் 2·6

இந்த பிம்பம் இரு ஆடிகளுக்கும் பின்னால் அமைவதால், மேலும் பிம்பங்கள் உருவாவதில்லை. எனவே, குத்து ஆடிகளின் அமைப்பில் தோன்றும் பிம்பங்களின் மொத்த எண்ணிக்கை மூன்றாகும்

2·9. ஒன்றுக்கொன்று சாய்வாகவுள்ள இரு சமதள ஆடிகள் (Two plane mirrors inclined at an angle): $M_1$ $M_2$ என்ற இரு சமதள ஆடிகளின் எதிரொளிப்புத் தளங்கள் ஒன்றையொன்று நோக்குமாறும் ஒன்றுக்கொன்று ஒரு குறிப்பிட்ட கோண அளவு ($\theta$) சாய்ந்திருக்குமாறும் அமைந்திருப்பதாகக் கொள்வோம். $n = \frac{2\pi}{\theta}$ என்ற சமன்பாட்டில் n ஒரு முழு எண்ணாக இருக்கும்வகையில் $\theta$ வின் மதிப்பு இருப்பதாகக் கொள்வோம்.

O என்ற ஒரு புள்ளிப் பொருள் இந்த இரண்டு ஆடிகளுக்கு முன் வைக்கப்பட்டுள்ளது. படம் 2·7 Oவிலிருந்து Mக்கு ஒரு நேர்கோடு வரைந்து $OQ_1 = Q_1 I_1$ இருக்குமாறு $OQ_1$ஐ நீட்டினால் $I_1$ Oவின் பிம்பமாக அமையும். இதுபோல் $M_2$ என்ற ஆடிக்கும் Oவிலிருந்து $OQ_1$ என்ற நேர்குத்துக் கோடு வரைந்து $OQ_2 = Q_2 I_2$ இருக்கும் வகையில் $I_2$ வரை நீட்டினால் $I_2$, $M_2$ வினால் எதிரொளிக்கப்பட்ட Oவின் பிம்பமாக அமையும். மேலும், $I_1$, $M_2$ என்ற ஆடிக்குமுன் இருப்பதால் $Q'_2$, வழியாக $I_1$லிருந்து $M_2$விற்கு ஒரு நேர்குத்துக்கோடு வரைந்து $Q'_1$, $I_2 = Q'_2 I_{12}$ என்று அமையுமாறு $I_{12}$ வரை நீட்டினால் $I_1$னின் பிம்பமாக $I_{12}$ அமையும். இதுபோலப் பன்முக எதிரொளிப்புகளும் வரையலாம்.




படம் 2·7

$M_1$ ம் $M_2$ ம் சேரும் இடம் P ஆக இருக்கட்டும். PO வையும் $PI_1$ ஐயும் இணை. $\triangle PQ_1O = \triangle PQI_1$ என்ற இரு முக்கோணங்களும் வடிவொத்தவை. ஏனெனில்,

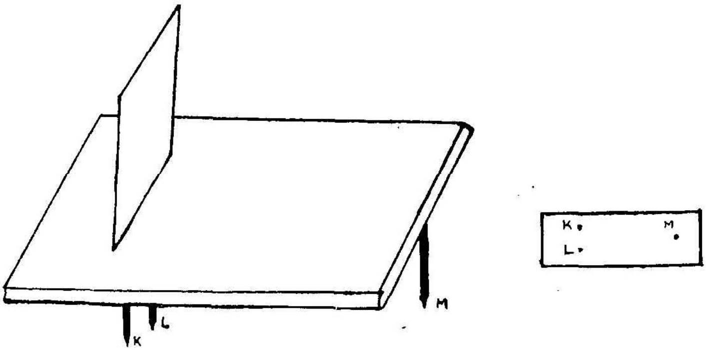
$$P\widehat{Q_1}O = P\widehat{Q_1}I_1 = 90^\circ$$

$$OQ_1 = I_1Q_1$$

மற்றும் $PQ_1$ இரு முக்கோணங்களுக்கும் பொது. எனவே $PO = PI_1$. இதுபோலவே, $PO = PI_2$; $PI_1 = PI_2$ எனவும் நிரூபிக்கலாம். அதாவது எல்லா பிம்பங்களும் P ஐ மையமாகவும் PO வை ஆரமாகவும் வைத்து வரையப்பட்ட ஒரு வட்டப் பரிதியில் அமையும். $M_1P$ யையும் $M_2P$ யையும் முறையே $m_1$, $m_2$ வரை நீட்டவும். இந்த வட்டத்தை $m_1\ p\ m_2 = \theta$ என்ற கோண அளவு இருக்குமாறு வட்டக்கோண பகுதிகளாகப் பிரித்தால் n பகுதிகள் $\left(n = \frac{2\pi}{\theta}\right)$ அமையும். $m_1pm_2$ என்ற பகுதியைத் தவிர மற்ற ஒவ்வொரு வட்டக்கோணப் பகுதிகளிலும் ஒன்றுக்கு மேற்படாத பிம்பங்கள் இருக்கும். $m_1\ p\ m_2$ என்ற பகுதியில் பொருள் இருக்கிறது. n ஒரு ஒற்றைப்படை எண்ணானால், $m_1p\ m_2$ என்ற பகுதியில் இரண்டு பிம்பங்கள் தோன்றும். 0 என்ற பொருள் இரண்டு ஆடிக்கும் சமதூரத்தில் அமைந்திருந்தால், இந்த இரு பிம்பங்களும் ஒன்றோடு ஒன்று இணையும். n ஓர் இரட்டைப்படை எண்ணானால் $m_1pm_2$ என்ற பகுதியில் ஒரே பிம்பம்தான் இருக்கும். ஆகையால் $n = \frac{2\pi}{\theta}$ ஒரு ஒற்றைப்படை எண்ணாகவும், பொருள் இரண்டு ஆடிகளுக்கும் சம தூரத்தில் இல்லாமலும் இருந்தால்,

பிம்பங்களின் எண்ணிக்கை n ஆகவும் n ஓர் இரட்டைப்படை எண் என்றால் மொத்த பிம்பங்களின் எண்ணிக்கை n-1 ஆகவும் அமையும்.

2·10. ஒளியியல் நெம்புகோல் (Single optic lever): செவ்வக வடிவமுள்ள மரப்பலகை ஒன்றின் அடிப்பாகத்தில், ஒரே உயரமுள்ள மூன்று ஊசி முனைக் கால்கள் பொருத்தப் பட்டிருக்கும். அவற்றில் இருகால்கள் (KL) பலகையின் பின் புறத்தில் குறுக்காகவும், மூன்றாவது கால் M முன் புறத்திலும் அமைக்கப்பட்டிருக்கும். இந்த மூன்று கால்களும் ஒரு, இரு சம பக்க முக்கோணத்திலமையும். (படம் 2·8a.) பலகையின் மேல் புறம், KLக்கு இணையாகப் படத்தில் காட்டியபடி ஒரு சிறு சமதள ஆடி பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இத்தகையதோர் அமைப்பு ஒளியியல் நெம்பு கோலெனப்படும்.

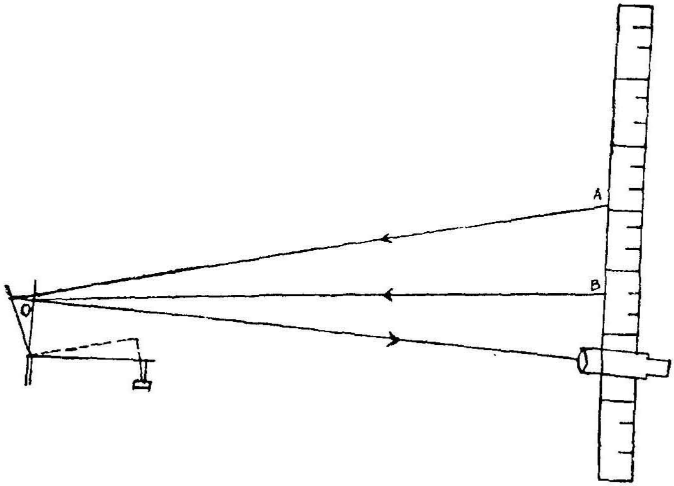



படம் 2·8 (a)

(அ) ஒளியியல் நெம்புகோலைக் கொண்டு ஒரு தட்டின் கனத்தைக் காணல்.

நெம்புகோலை ஒரு சமதளப் பரப்பின்மேல் வைக்கவும். நெம்பு கோலிலிருந்து சுமார் 1 மீட்டர் தொலைவில் ஒரு தொலைநோக்கி யுடன் (telescope) இணைக்கப்பட்டுள்ள அளவுகோலை, அளவு கோல் செங்குத்தாக இருக்குமாறும், அளவுகோலின் அளவுக் குறிகள் நெம்புகோல் கண்ணாடியில் எதிரொளிக்கப்பட்டு, தொலை நோக்கியின் வழியாகத் துல்லியமாகத் தெரியுமாறும் அமைத்துக் கொள்ளவேண்டும். இந்த நிலையில் தொலைநோக்கியின் கண்ணருகுக் கருவியில் (eyepiece) உள்ள குறுக்கிணை கம்பிகளின் (cross wires) இடைக்கம்பி (horizontal) அளவுகோலின் ஏதாவதோர் அளவுடன் ($s_1$) பொருந்தியிருக்கும்.

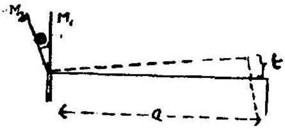
பின்னர் 't' கனமுள்ள தட்டை நெம்புகோலின் முன்காலுக் கூடியில் வைத்தால், நெம்புகோலின் மரப்பலகையும் ஆடியும் θ கோணம் சுழற்றப்படுகிறது.




படம் 2·8 (b)

இப்பொழுது தொலைநோக்கியில் கிடைமட்டக் குறுக்கிணைக் கம்பி பொருந்தும் எதிரொளிக்கப்பட்ட அளவுகோலின் அளவு ($s_2$) என்று கொள்வோம் (படம் 2·8 b).

படம் 2·8 Cல் $M_1$, $M_2$ என்பன முறையே நெம்புகோலுக் கூடியில் தட்டு வைக்கப்படுவதற்கு முன்னும் வைக்கப்பட்ட பின்னும் நெம்புகோல் ஆடியின் கண்ணாடியின் நிலையைக் குறிக்கும். தட்டை முன்னங்காலுக்கூடியில் வைத்ததனால் நெம்புகோல் பலகை θ கோணம் சுழற்றப்படுகிறது. ஆகையால் ஆடியும் θ கோணம் சுழற்றப்படுகிறது. அளவுகோலிலிருந்து தொலைநோக்கியில் விழும் கதிர் எதிரொளிப்புக் கதிராகும். ஆகையால் நெம்புகோலின் இரு நிலைகளிலும் எதிரொளிப்புக் கதிர் ஒரே திசையிலிருக்கும். ஆடி θ கோணம் சுழற்றப்படும்பொழுது எதிரொளிப்புக் கதிர் மாருமல் இருக்கப் படுகதிர் 2θ கோணம் சுழற்றப்படவேண்டும்.




படம் 2·8 (c)

ஆகையால்,

$$\widehat{AOB} = 2\theta$$ ஆகும்.

கண்ணாடியிலிருந்து அளவுகோலின் தொலைவு D என்று கொண்டால்,

$$2\theta = \frac{s_2 - s_1}{D}$$ ஆகும்.

அல்லது $$\theta = \frac{s_2 - s_1}{2D}$$ ஆகும்.

நெம்புகோலில் பின்னங்கால்களை இணைக்கும் கோட்டிற்கும் நெம்புகோலின் முன்காலுக்குமுள்ள நேர்குத்துத் தொலைவு '$a$' ஆனால்,

$$\theta = \frac{t}{a}$$ ஆகும்.

ஆகையால்

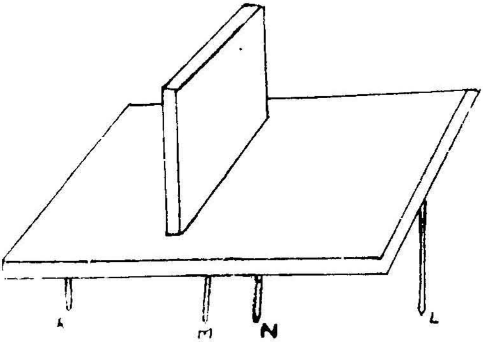
$$\frac{t}{a} = \frac{s_2 - s_1}{2D}$$

அல்லது $$t = \left(\frac{s_2 - s}{2D}\right) d$$ என்றாகும். .. (2·2)

2·11(அ) இரட்டை ஒளியியல் நெம்புகோல் (Double optic lever): ஒரு செவ்வக வடிவமுள்ள மரப்பலகையின் அடிப்பாகத்தில் K, L, M, N என்ற நான்கு சிறு ஊசிமுனைக் கால்கள் பொருத்தப் பட்டுள்ளன. K யையும் L யையும் சேர்க்கும் நேர்கோடு, M ஐயும் N ஐயும் சேர்க்கும் நேர்கோட்டைச் செங்குத்தாக வெட்டுமாறு இந்தக் கால்கள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. (படம் 2·9a.) நடுவில் பொருத்தப்பட்டுள்ள M, N, என்ற இரு கால்களும் K, L,

என்ற கால்களைவிடச் சிறிது அதிக நீளம் உடையதாக அமைக்கப் பட்டுள்ளன. மரப்பலகைக்கு மேல்புறத்தில் ஒரு சமதள ஆடி M, N அமைந்துள்ள தளத்திலேயே மரப்பலகைக்கு நேர்குத்தாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இவ்வாறு அமைக்கப்பட்ட ஒரு கருவி, இரட்டை ஒளியியல் நெம்புகோல் எனப்படும். K, L என்ற இரு கால்களும் M, N-ஐவிடச் சற்றே சிறிதாக இருப்பதால், இந்தக் கருவி சமதளத்தில் வைக்கப்படும்பொழுது, சற்றுச் சாய்ந்த நிலையில் நிற்கும். ஒரு தொலைநோக்கியும் அதனோடு செங்குத்தாகப் பொருத்தப்பட்ட ஓர் அளவுகோலும் கொண்ட ஓர் அமைப்பை, இந்த நெம்புகோலிலிருந்து சுமார் ஒரு மீட்டர் தொலைவில் ஆடியை நோக்கி வைத்து, ஆடியில், எதிரொளிக்கப்பட்ட அளவுகோலின் அளவுகள் பொலிவுடன் தெரியுமாறு தொலைநோக்கியை அமைத்துக்கொள்ளலாம்.

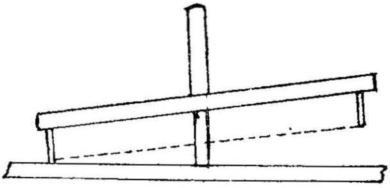
ஒரு சமதளத்தின்மீது வைக்கப்பட்டுள்ள இந்த நெம்புகோலின் தளம், சாய்தளமாகவே அமையும். $KL = 2x$ என்றும் $MN = 2y$ என்றும் கொள்வோம். ஆடியிலிருந்து அளவுகோல் D தொலைவில் இருக்கட்டும். நெம்புகோலை L என்ற முன்கால், சமதளத்தில் பதிந்திருக்கும்வண்ணம் இருந்த நிலையிலிருந்து K என்ற பின்கால் சமதளத்தில் பதிந்து நிற்கும் நிலைக்குக் கொண்டுவர, $2\theta$ என்ற




படம் 2·9(a)

அளவு சுழற்ற வேண்டி இருப்பதாகக் கொள்வோம். எதிரொளிப்புக் கதிர் மாறாமல் இருக்கும்பொழுது, ஆடி $2\theta$ அளவு சுழல்வதால் படுகதிர் $4\theta$ அளவு திரும்பும். தொலைநோக்கியின்மூலம் பார்க்கும் பொழுது, அளவுகோலில் இரு நிலைகளுக்கும் இடையே $d_1$ அளவு வேறுபட்டால், $\frac{d_1}{D} = 4\theta$ ஆகும்.

(ஆ) ஒரு கண்ணுடித் தட்டின் கனத்தை அளவிடல் : முதலில், நெம்புகோலை ஒரு சமதளத்தில் வைத்துக்கொண்டு அதன் பின்னங்காலும், முன்னங்காலும் முறையே சமதளத்தில் பதியுமாறு சுழற்றித் தொலைநோக்கியின்மூலம் தெரியும் அளவீடு களைக் கண்டுகொள்க. இந்த இரு அளவீடுகளின் மாறுபாட்டை $d_1$



படம் 2·9(b)

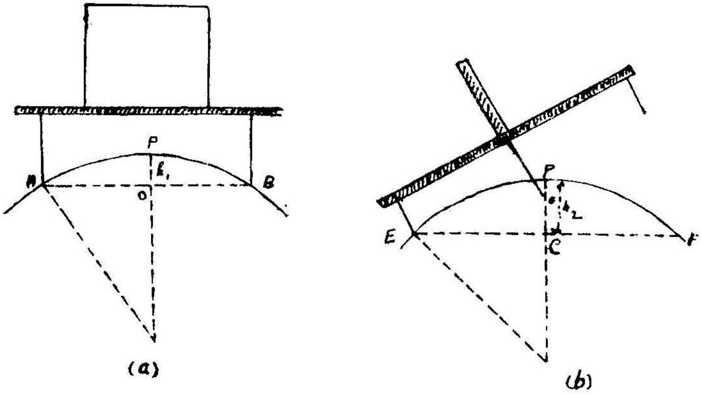
என்று குறித்துக்கொள்வோம். பிறகு கொடுக்கப்பட்டுள்ள t கன முள்ள கண்ணுடித் தட்டை, மையத்தில் அமைக்கப்பட்ட இரு கால்களுக்கு அடியில் வைக்கவும். இப்பொழுது நெம்புகோலின் சாய்வு $\frac{t}{x}$ என்ற அளவில் அதிகரிக்கிறது; அல்லது நெம்பு கோலின் இரு நிலைகளுக்கிடையே உள்ள கோண அளவு $2\left(\theta+\frac{t}{x}\right)$ என்ருகும். இந்த இரு நிலைகளிலும், தொலை நோக்கியின் வழியாகக் காணும்பொழுது கிடைக்கும் அளவீடுகளின் மாறுபாடு $d_2$ என்ருல்,

$$\frac{d_2}{D} = 4\left(\theta+\frac{t}{x}\right)$$

அல்லது $$t = \frac{(d_2-d_1)x}{4D} \qquad \ldots\ \ldots\ \ldots(2\cdot3)$$

(இ) ஒரு கோளப் பரப்பின் வளைவு ஆரத்தைக் காணல் : இரட்டை நெம்புகோலை ஒரு சமதளத்தின்மேல் வைத்து முறையே பின்னங்காலும் முன்னங்காலும் தளத்தைத் தொடும் பொழுது, தொலைநோக்கியின்மூலம் காணும் அளவீட்டின் மாறுதல், $d_1$ ஆனல் $\frac{d_1}{D} = 4\,\theta$ ஆகும். பிறகு நெம்புகோலைக் கொடுக்கப்பட்ட கோளப்பரப்பின்மீது வைத்தால், மையக்கால்கள் கோளப்பரப்பை A, B என்ற இடத்தில் தொடும். [கோளத்தின் மேல் மையக்கால்கள் பதியும் குறுக்குவெட்டுத் தோற்றத்தையும் பின்னங்கால் பதியும் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றத்தையும், முறையே படம் 2·10(a)யும், படம் 2·10(b)-யும் விளக்குகின்றன.]

பின்னங்காலும் முன்னங்காலும் கோளப்பரப்பை முறையே E, F என்ற இடத்தில் தொடும். A, B புள்ளிகளை இணைக்கும் நேர் கோட்டையும், E, F புள்ளிகளை இணைக்கும் நேர்கோட்டையும் இரு கூறுகளாகப் பிரிக்கும் செங்குத்துக்கோடு கோளப் பரப்பை




படம் 2·10

P என்ற புள்ளியில் தொடும். இந்தக் கோடு AB-ஐ O-விலும் EF-ஐ C-யிலும் வெட்டும். மேலும், இந்தக் கோடு கோளமையத்தின் வழியாகச் செல்லும். OP யின் தொலைவு $h_1$ என்றும், கோளத்தின் வளைவு ஆரம் (radius of curvature) R என்றும் கொண்டால்,

$$(2R-h_1)\,h_1 = OA^2 = Y^2$$

அல்லது $2Rh_1 = Y^2$ என்றாகும். $(\because\ h_1 << R)$

மேலும், $PC = h_2$ என்று கொண்டால்,

$$(2R-h_2)\,h_2 = CE^2 = x^2$$

$$2Rh_2 = x^2 \qquad (\because\ h_2 << R)$$

எனவே, $h_2 - h_1 = \dfrac{x^2 - Y^2}{2R}$

$$\mu = \frac{h_2-h_1}{x} = \frac{x^2-Y^2}{2Rx} \qquad \dots\ \dots\ \dots(2{\cdot}4)$$

இரட்டை ஒளியியல் நெம்புகோல் ஒரு கோளப்பரப்பில் வைக்கப் படும்பொழுது, சமதளத்தின்மேல் வைக்கப்படுவதைக்காட்டிலும் $2\mu$ அதிகமாகச் சாய்கிறது. ஆகையால் இப்பொழுது ஏற்படும் அளவீட்டின் வேறுபாடு $d_2$ ஆனால்,

$$2\,(2\theta \times 2\mu) = \frac{d_2}{D} \qquad \ldots\ldots\ldots(2{\cdot}5)$$

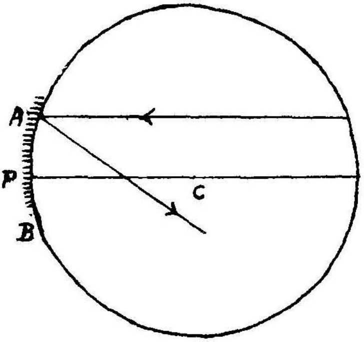
$$\text{எனவே,}\ \mu = \frac{d_2 - d_1}{4D} \qquad \ldots\ldots\ldots(2{\cdot}6)$$

சமன்பாடுகள் 2·4, 2·6 இவைகளிலிருந்து

$$\frac{x^2 - y^2}{2Rx} = \frac{d_2 - d_1}{4D}$$

$$\text{எனவே,}\ R = \frac{2D(x^2 - y^2)}{x^2(d_2 - d_1^2)}\ \text{என்றாகும்} \qquad \ldots\ldots(2{\cdot}7)$$

2·12. கோளப் பரப்பில் எதிரொளிப்பு (Reflection at spherical surface): சமதள ஆடிகளில் நிரூபிக்கப்பட்ட விதிகள் கோளஆடிகளுக்கும் பொருந்தும். கோள ஆடி என்பது உள்ளீடற்ற கோளம் ஒன்றின் ஒரு பகுதியே ஆகும். கோளத்தின் குழிந்த பரப்பு எதிரொளிக்கும் பரப்பாக அமைந்தால், அது குழி ஆடி (concave mirror) என்றும், கோளத்தின் குவிந்த பரப்பு எதிரொளிக்கும் பரப்பாக அமைந்தால், அது குவி ஆடி, (convex mirror) என்றும் கூறப்படும்.




படம் 2·11.

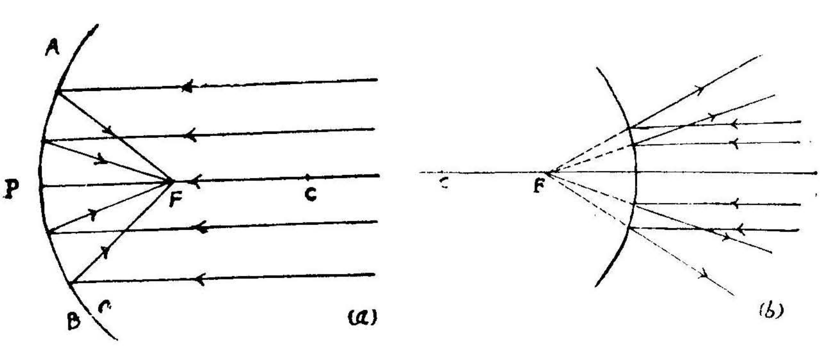
ஆடி, எந்தக் கோளத்தின் பகுதியாக அமைகிறதோ, அக் கோளத்தின் மையம், ஆடியின் வளைவு மையம் (centre of curvature) என்றும், கோளத்தின் ஆரம், ஆடியின் வளைவு ஆரம் (radius of curvature) என்றும் அழைக்கப்படும். ஆடிப்பரப்பின் மையப் புள்ளி, ஆடி மையம் (pole of the mirror) எனப்படும். ஆடி மையம், வளைவு மையம், ஆகிய புள்ளிகள்வழியே செல்லும் நேர்கோடு ஆடியின் முதன்மை அச்சு (principal axis) ஆகும். படம் 2-11ல் AB என்பது ஒரு குழி ஆடி. C என்பது வளைவு மையம். P என்பது ஆடி மையம். PCயின் நீளம் வளைவு ஆரம். P,C யின் வழியாகச் செல்லும் நேர்கோடு முதன்மை அச்சு.

முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகவும் நெருக்கமாகவும்; செல்லும் இணை ஒளிக்கற்றை ஒரு குழி ஆடியில் எதிரொளிக்கப்பட்டு, முதன்மை அச்சின்மீதுள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட F புள்ளியில் குவியும். இந்தப் புள்ளி குழி ஆடியின் முதன்மைக் குவியம் (principal focus) எனப்படும்.

முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகவும், நெருக்கமாகவும் செல்லும் இணை கதிர்கள் ஒரு குவி ஆடியினுல் எதிரொளிக்கப்பட விரியும். இந்த எதிரொளிக் கற்றை முதன்மை அச்சின்மீதுள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியினின்றும் விரிவதுபோன்று தோன்றும். இந்தப் புள்ளி, குவி ஆடியின் முதன்மைக் குவியம் எனப்படும்.

குழி ஆடியில், முதன்மைக் குவியத்தில் உண்மையாகவே கதிர்கள் குவிவதால், அதை மெய்க் குவியம் (real focus) என்றும், குவி ஆடியில், குவியத்திலிருந்து கதிர்கள் விரிவடைவதுபோல் தோன்றுவதால், அதை மாயக் குவியம் (virtual focus) என்றும் கொள்ளவேண்டும்.

முதன்மைக் குவியத்திற்கும் ஆடி மையத்திற்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு, ஆடியின் குவியத் தூரம் (focal length) எனப்படுகின்றது. படம் 2·12-ல் F என்பது முதன்மைக் குவியம். F Pஎன்பது குவியத் தூரம். எதிரொளிப்பு விதிகளின் உண்மைகள் கோள அடிகளுக்குப் பொருந்தும்.

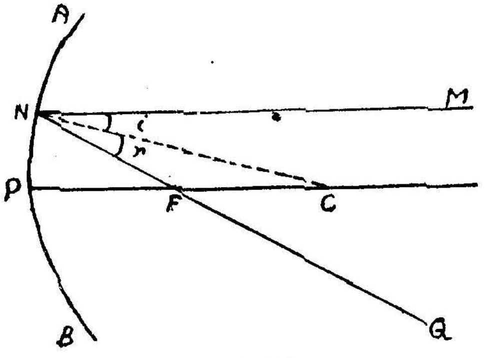



படம் 2·12

1. வளைவு மையம் வழியே, கோளத்தின் பரப்பை நோக்கிச் செல்லும் கதிர்கள் பரப்பிற்கு நேர்குத்தாக அமைவதால், எதிரொளிப்புக் கதிர் படுகதிர் சென்ற திசையிலேயே திரும்பும். அதாவது இது ஒரு நேர்குத்து எதிரொளிப்பாகும்

2. முதன்மை அச்சு ஆடி மையத்திலிருந்து வரையப்பட்ட நேர்குத்துக் கோடாதுக அமைவதால், முதன்மை அச்சிற்குச் *சாய்வாக ஆடி மையத்தில் விழும் ஒரு கதிரும், அதன் எதிரொளிப்புக்* கதிரும் அச்சிற்கு ஒரே அளவில் சாய்ந்திருக்கும்.

2-13. கோள ஆடியின் வளைவு ஆரமும், குவிய தூரமும்: படம் 2·13-ல் AB என்ற ஒரு குழி ஆடியில் C என்பது ஆடியின் வளைவு மையம். முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகவும் நெருக்கமாகவும் செல்லும் MN என்ற கதிர் ஆடியில் N என்ற இடத்தில் விழுவதாகக் கொள்வோம். N-ஐயும் C-ஐயும் சேர்க்கும் நேர்கோடு AB-க்கு *N என்ற படுகைப் புள்ளியிலிருந்து வரையப்படும் நேர்குத்துக்* கோடு படுகோணம் ஆகிய $\widehat{MNC}$ யின் அளவே இருக்குமாறு N லிருந்து NQ என்ற நேர்கோடு வரைந்தால், $\widehat{CNQ}$ எதிரொளிப்புக் கோணம் முதன்மை அச்சை NQ என்ற எதிரொளிப்புக் கதிர் சந்திக்கும் புள்ளிதான் ஆடியின் குவியம் என்பது தெளிவு.




படம் 2·13

வரைமுறையின்படி $\widehat{MNC} = \widehat{CNF}$, MNம், PCயும் இணை கோடுகளாதலால், $\widehat{MNC} = \widehat{NCF}$; $\widehat{CNF} = \widehat{NCF}$

$\therefore$ $\widehat{CNF} = \widehat{NCF}$ ஆகையால் FN=FC

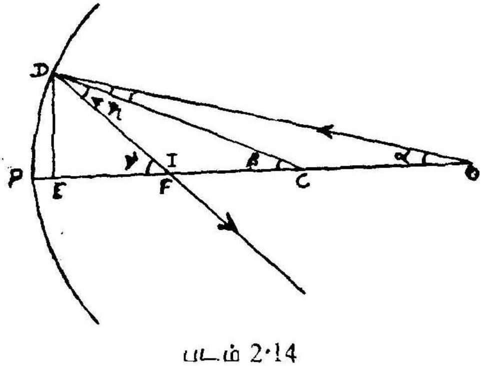
படுகதிர் முதன்மை அச்சிற்கு நெருக்கமாக இருப்பதால், $PF \approx FN$ எனக்கொள்ளலாம். எனவே, $PF = FC = \frac{PC}{2}$

PC-ஐ R எனவும், PF-ஐ $f$ எனவும் கொண்டால், $f = R/2$ அல்லது $R = 2f$ என்றாகும். ... ... ... ... (2·8)

இதுபோன்றே குவி ஆடியின் வளைவு ஆரமும் அதன் குவியத் தூரத்தின் இருமடங்காக இருக்கும் என நிரூபிக்கலாம்.

2-14. கோள ஆடிகளில் எதிரொளிப்புக்கான பொதுச் சமன்பாடு-குறியீட்டு மரபு: கோள ஆடிகளினால் எதிரொளிக்கப்பட்ட பொருள்களின் பிம்பங்கள், அந்தப் பொருள் ஆடி மையத்திலிருந்து அமையும் தூரம், மற்றும் ஆடியின் வளைவுத்தன்மை இவைகளைப் பொறுத்து மெய்ப்பிம்பமாகவோ அல்லது மாய பிம்பமாகவோ அமையும். ஆடியிலிருந்து பொருளின் தொலைவு, பிம்பத்தின் தொலைவு, குவியத்தூரம் ஆகியவற்றிற்கிடையே உள்ள தொடர்பு பற்றிக் குறிப்பிடக் குறியீடு மரபு ஒன்றைக் கையாளுதல் தேவையாகிறது. இந்த மரபின்படி ஆடியிலிருந்து, மெய்ப்பொருள், மெய்ப்பிம்பம் மெய்க்குவியம் ஆகியவற்றின் தொலைவுகள் நேர்குறி (positive) உடையனவாகக் கருதப்படுகின்றன. மாயபிம்பம், மாயக்குவியம் ஆகியவற்றின் தொலைவுகள் எதிர்க்குறி (negative) உடையனவாகக் கருதப்படுகின்றன. இந்தக் குறியீட்டு மரபுப்படி, குழிஆடியின் குவியம் மெய்யாக இருப்பதனால் குவியத்தூரம் மற்றும் வளைவு ஆரம் இவை நேர்குறியையும், குவி ஆடியின் குவியம் மாயக்குவியமாக அமைவதால், இந்த ஆடியின் குவியத்தூரம் மற்றும் வளைவு ஆரம், ஆகியவை எதிர்க்குறியையும் கொண்டுள்ளன.

(அ) குழி ஆடி: APB என்ற ஒரு குழி ஆடியில் P என்பது ஆடி மையமாகவும், C வளைவு மையமாகவும் கொள்வோம். O என்ற ஒரு புள்ளிப்பொருள் முதன்மை அச்சின்மேல் ஆடி மையத்திலிருந்து *u* தொலைவில் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றது. O விலிருந்து ஒரு படுகதிர் ஆடிப் பரப்பில் D என்ற இடத்தில் பட்டு




படம் 2·14

மீள்கிறது. O-வின் மெய்பிம்பம் முதன்மை அச்சில் ஆடி மையத்திலிருந்து *v* தொலைவிலுள்ள I என்ற இடத்தில் விழுகிறது எனக் கொள்வோம். C-ஐயும் I-ஐயும் D-யுடன் இணை. D-யிலிருந்து

முதன்மை அச்சிற்கு ஒரு நேர்குத்துக்கோடு வரைந்தால், அது முதன்மை அச்சை E-யில் சந்திக்கட்டும். (படம் 2·14)

படம் 2·14-லிருந்து

$$\widehat{DOp} = \alpha,$$

$$\widehat{DCP} = \beta,$$

$$\widehat{DIP} = \gamma,$$

எனக் கொள்வோம்.

$$\widehat{ODC} = i = r = \widehat{CDI}$$

DCO என்ற முக்கோணத்தில்

$$\beta = i + \alpha \qquad \text{... ... ...(2·9)}$$

DIC என்ற முக்கோணத்தில்

$$\gamma = r + \beta = i + \beta$$

$$\beta = \gamma - i \qquad \text{... ... ...(2·10)}$$

(2·9), (2·10) சமன்பாடுகளைக் கூட்டினால்,

$$2\beta = \alpha + \gamma \qquad \text{... ... ...(2·11)}$$

OD என்ற ஒளிக்கதிர் முதன்மை அச்சிற்கு மிக நெருக்கமாக இருப்பதால், $\alpha, \beta, r$ என்ற கோணங்களை முறையே tan $\alpha$, tan $\beta$, tan $\gamma$ என்று கொள்ளலாம். $\triangle$ODE, $\triangle$CDE மற்றும் $\triangle$IDE என்ற முக்கோணங்களிலிருந்து,

$$\frac{DE}{EO} = \tan\alpha = \alpha$$

$$\frac{DE}{EC} = \tan\beta = \beta \qquad \text{... ... ... (2·12)}$$

$$\frac{DE}{EI} = \tan\gamma = \gamma$$

என்று அறியலாம்.

சமன்பாடு (2 11)ல் $\alpha, \beta, \gamma$ இவைகளுக்குச் சமன்பாடு (2·12) லிருந்து சமனீடு செய்தால்

$$2\frac{DE}{EC} = \frac{DE}{EO} + \frac{DE}{EI} \qquad \text{... ... ... (2·13)}$$

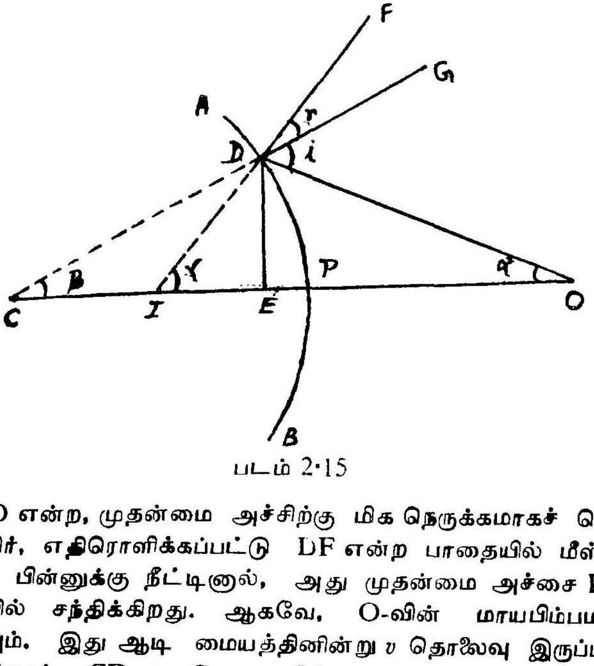
வளைவு ஆரத்துடன் ஒப்பிட்டு நோக்கும்பொழுது EP மிகச் சிறிய அளவாகையால், EO = PO; EC = PC; EI = PI எனத் தோராயமாகக் கொள்ளலாம்.

$$\therefore\ 2\frac{DE}{PC} = \frac{DE}{PO} + \frac{DE}{PI}$$

மேலும், PC = R; PO = $u$; PI = $v$

ஆகையால் $\frac{2}{R} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$ ஆகும். ......(2·14)

(ஆ) குவி ஆடி: ஒரு குவிஆடியின்முன் முதன்மை அச்சின்மேல் ஆடி மையத்திலிருந்து $u$ என்ற தொலைவில் O என்ற புள்ளிப்பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளது (படம் 2·15).




படம் 2·15

OD என்ற, முதன்மை அச்சிற்கு மிக நெருக்கமாகச் செல்லும் ஒரு கதிர், எதிரொளிக்கப்பட்டு DF என்ற பாதையில் மீள்கிறது. DFஐப் பின்னுக்கு நீட்டினால், அது முதன்மை அச்சை I என்ற புள்ளியில் சந்திக்கிறது. ஆகவே, O-வின் மாயபிம்பமாக I அமையும். இது ஆடி மையத்தினின்று $v$ தொலைவு இருப்பதாகக் கொள்வோம். CD-யை G வரை நீட்டவும்.

$$\widehat{DOP} = \alpha$$

$$\widehat{DCP} = \beta$$

$$\widehat{DIP} = \gamma$$

$$\widehat{ODG}=i$$

$$\widehat{CDI}=\gamma$$

$\triangle$ DCO-வில் $i=\alpha+\beta$ ... ... (2·15)

$\triangle$ DIC-யில் $\gamma=r+\beta=i+\beta$ ... ... (2·16)

$$\gamma=(\alpha+\beta)+\beta$$

$$\therefore \alpha-\gamma=-2\beta$$

முன்பு கூறியது போலவே, $\alpha=\frac{DE}{PO}$, $\beta=\frac{DE}{PC}$ $\gamma=\frac{DE}{PI}$ ஆகும்.

$$\therefore \frac{DE}{PO}-\frac{DE}{PI}=-2\frac{DE}{PC} \quad \text{......(2·17)}$$

PO$=u$

PI$=-v$

(குறியீட்டு மரபுப்படி மாயபிம்பத்திற்கும் ஆடி மையத்திற்கும் இடையே உள்ள தொலைவு எதிர்க்குறி கொண்டுள்ளது).

PC$=-$R (மாயக் குவியம் ஆதலால் வளைவு ஆரம் எதிர்க்குறி கொண்டுள்ளது).

சமன்பாடு (2·17)ஐப் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\frac{1}{u}-\frac{1}{-v}=-2\frac{1}{-R}$$

எனவே, $\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{2}{R}$

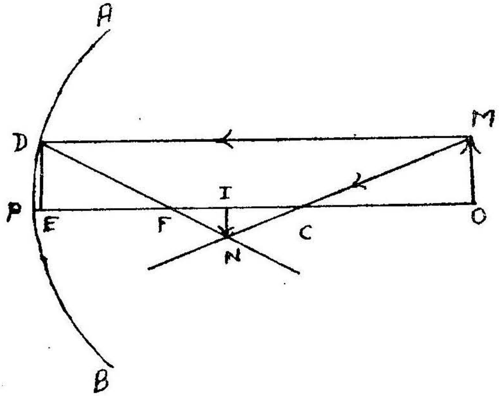
**2·15. கோள ஆடிகளில் நீட்சிப் பொருள்களின் எதிரொளிப்பு :** ஒரு நீட்சிப் பொருளின் பிம்பத்தைக் கோள ஆடியில் காண, அந்தப் பொருளின் எல்லாப் புள்ளிகளிலிருந்தும் ஒளிக்கற்றைகள் செல்லும் பாதையை வரையவேண்டும். இது சற்றுக் கடினம். எனவே, அதற்கு மாறாக ஏதாவது ஒரு புள்ளியிலிருந்து புறப்படும் கதிரின் பிம்பம் விழும் இடத்தைமட்டும் வரைந்துகொண்டு, ஒழுங்கு விதிகளின்படி மற்றப் புள்ளிகளின் பிம்பங்கள் விழும் இடங்களைக் கண்டறிந்து சேர்க்கலாம். வடிவியல் முறையில் பிம்பங்களின் நிலை, அளவு, இயல்பு இவற்றைக் காணக் கீழ்க்கண்ட எளிதான எதிரொளிப்பு விதிகளைப் பயன்படுத்தலாம்.

(1) முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகவும், நெருக்கமாகவும், ஆடியின்மீது விழும் ஒரு படுகதிர் கோள ஆடியில் எதிரொளிப்பிற்குப்பின், குழி ஆடியானல் முதன்மைக் குவியம் வழியாகச் செல்லும். குவி ஆடியானல் முதன்மைக் குவியத்திலிருந்து வருவது போலத் தோன்றும்.

(2) முதன்மைக் குவியத்தின் வழியாகச் செல்லும் படுகதிர், அல்லது முதன்மைக் குவியத்திலிருந்து வருவதுபோலத் தோற்றமளிக்கும் படுகதிர், ஒரு கோள ஆடியில் எதிரொளிப்பிற்குப்பின் அந்த ஆடியின் முதன்மை அச்சிற்கு இணையாக மீளும்.

(3) வளைவு மையம் வழியாகச் செல்லும் படுகதிர் அல்லது வளைவு மையத்திலிருந்து வருவதுபோல் தோன்றும் படுகதிர், எதிரொளிப்பிற்குப்பின் அது சென்ற திசையிலேயே மீளும்.

2·16. $u, v, f$ ஆகியவற்றிற்கிடையே உள்ள தொடர்பைப் பெறுதல் : (அ) குழி ஆடி: OM என்ற ஒரு பொருள் APB என்ற ஆடிக்குமுன்




படம் 2·16

வைக்கப்பட்டுள்ளது. வரையியல்படி IN இதன் பிம்பமாகும். (படம் 2·16) △ COMஉம் △ CINனும் ஒத்த முக்கோணங்கள். எனவே,

$$\frac{OM}{IN} = \frac{CO}{CI} \qquad \dots \dots \dots (2·18)$$

△F EDயும் △ FINனும் ஒத்த முக்கோணங்கள்.

$$\therefore \frac{DE}{IN} = \frac{EF}{FI} \qquad \dots \dots \dots (2·19)$$

மேலும், DE = OM எனவே,

$$\frac{OM}{IN}=\frac{EF}{FI} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots(2{\cdot}20)$$

சமன்பாடு (2·18)-ஐச் சமன்பாடு (2·20) உடன் ஒப்புநோக்கின்,

$$\frac{EF}{FI}=\frac{CO}{CI} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots(2{\cdot}21)$$

படுகதிர் முதன்மை அச்சிற்கு மிக நெருக்கமாக உள்ளதால், EF ஐ PF எனத் தோராயமாக வைத்துக்கொள்ளலாம்.

$$\therefore \quad \frac{PF}{FI}=\frac{CO}{CI}$$

$$PF=f$$

$$FI=PI-PF=v-f$$

$$CO=PO-PC=u-2f$$

$$CI=PC-PI=2f-v$$

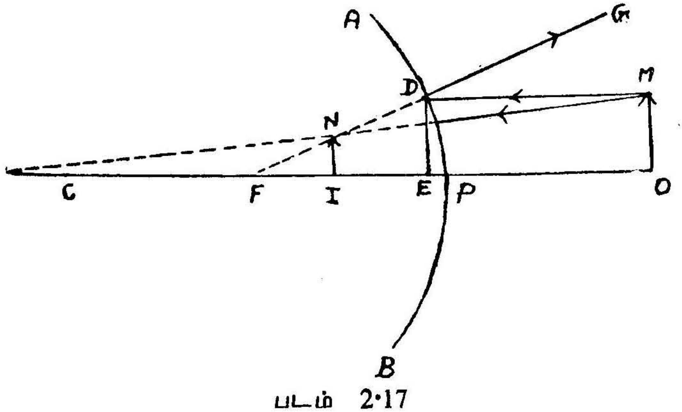
$$\therefore \quad \frac{f}{v-f}=\frac{u-2f}{2f-v}$$

(i.e.) $2f^2-vf=uv-uf-2vf+2f^2$

$uf+vf=uv$

$u.v\,f$ ஆல் இரு பக்கமும் வகுத்தால்,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2{\cdot}22)$$




படம் 2·17

(ஆ) குவி ஆடி: OM என்ற பொருளின் மாய பிம்பமாக IN அமைகிறது. $\triangle$COMம் $\triangle$CINம் ஒத்த முக்கோணங்கள். (படம் 2·17).

$$\frac{OM}{IN} = \frac{CO}{CI} \qquad \text{...... ...... ......(2·23)}$$

△ CFDயும் FNIயும் ஒத்த முக்கோணங்கள்.

$$\therefore \frac{DE}{NI} = \frac{FE}{FI}$$

DE = OM ஆதலால்,

$$\frac{OM}{IN} = \frac{FE}{FI} \qquad \text{...... ...... ......(2·24)}$$

சமன்பாடு (2·23)-ஐயும் சமன்பாடு(2·24)-ஐ யும் ஒப்புநோக்கின்,

$$\frac{CO}{CI} = \frac{FE}{FI} \qquad \text{...... ...... ...(2·25)}$$

E-யும் P-யும் நெருக்கமாக இருப்பதால், FE-யை FP ஆகக் கொள்ளலாம்.

$$\therefore \frac{CO}{CI} = \frac{PF}{PI} \qquad \text{...... ...... ......(2·26)}$$

$$CO = CP + PO = u + (-2f) = u - 2f$$

$$CI = PC - IP = (-2f) - (-v)$$

$$= 2f + v = v - 2f$$

$$PF = -f$$

$$FI = PF - PI = (-f) - (-v) = v - f$$

∴ சமன்பாடு (2·26)-ன் மதிப்பு

$$\frac{u-2f}{v-2f} = \frac{-f}{v-f}$$

$$\therefore -fv + 2f^2 + uv = -fv + 2f^2$$

$$uv = uf + vf$$

$uvf$ ஆல் இருபக்கமும் வகுத்தால்,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

**2·17. உருப்பெருக்கம் (Magnification) :** பிம்பத்தின் அளவிற்கும் பொருளின் அளவிற்கும் உள்ள தகவு பிம்பத்தின் நீள் உருப்பெருக்கம் எனப்படும்.

$$\text{படம் 2·16-ல் } m = \frac{\text{பிம்பத்தின் உயரம்}}{\text{பொருளின் உயரம்}} = \frac{IN}{OM}$$

$$= \frac{IC}{OC}$$

$$= \frac{PC - PI}{PO - PC}$$

$$= \frac{2f - v}{u - 2f}$$

$$= \frac{2\left(\frac{vu}{u+v} - v\right)}{\left(u - 2\frac{uv}{v+u}\right)}$$

$$= \frac{uv - v^2}{u^2 - uv}$$

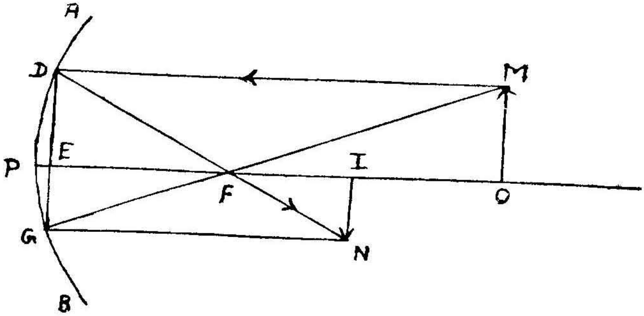
$$= \frac{v(u-v)}{u(u-v)}$$

$$= \frac{v}{u}$$

எனவே, உருப்பெருக்கம், $m = \frac{u}{v}$ ஆகும் ... ... ...(2·27)

**2·18. நியூட்டன் சமன்பாடு :** OM என்ற பொருளின் உயரம் HO என்றும் IN என்ற பிம்பத்தின் உயரம் Hi என்றும் கொண்டால் உருப் பெருக்கம்

குவியத்திலிருந்து பொருள் $S_o$ என்ற தொலைவிலும், பிம்பம் $S_i$ என்ற தொலைவிலும் அமைந்திருப்பதாகக் கொள்வோம். (படம் 2·18 )




படம் 2·18

△ MOF-ம் △ GFE-யும் ஒத்த முக்கோணங்களாதலால்,

$$\frac{EG}{OM} = \frac{EF}{OF}$$

$$= \frac{FP}{OF}$$

$$\therefore \quad \frac{H_i}{H_o} = \frac{f}{S_o} \qquad \ldots\ldots\ldots(2{\cdot}28)$$

△ INF-ம் △ DFE-ம் ஒத்த முக்கோணங்களாதலால்,

$$\frac{IN}{DE} = \frac{IF}{EF}$$

$$= \frac{IF}{PF}$$

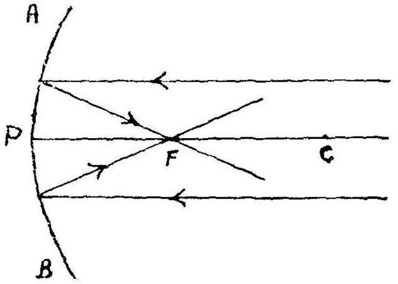
$$\therefore \quad \frac{H_i}{H_o} = \frac{S_i}{f} \qquad \ldots\ldots\ldots(2{\cdot}29)$$

சமன்பாடு ஒன்றையும், (2·28)-ஐம், (2·29)-ஐம் இணைத்தால்,

$$\frac{H_i}{H_o} \cdot \frac{H_o}{H_i} = \frac{S_i S_o}{f^2}$$

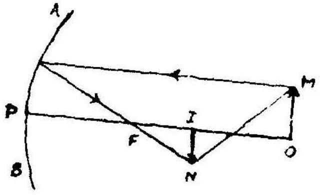
$$\therefore \quad S_i\, S_o = f^2 \qquad \ldots\ldots\ldots(2{\cdot}30)$$

**2·19.** பொருளின் இடத்தை ஒட்டி பிம்பம் அமையும் இடத்தைக் காணல் : பொருள் ஒரு குழி ஆடியின் முன்வைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். பொருள் எண்ணிலாத் தொலைவில் இருந்தால், $\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$ என்ற சமன்பாட்டில் $u=\infty$ ஆதலால், $v=f$ என ஆகிறது. எனவே, பிம்பம் F-இல் அமையும்.



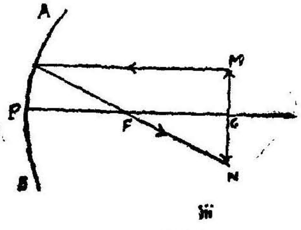

படம் 2·19 (i)

ii. பொருளை எண்ணிலாத் தொலையிலிருந்து ஆடியை நோக்கிக்கொண்டு வந்தால், $\frac{1}{u}$ அதிகப்படுவதால், $\frac{1}{v}$ குறைய $v$ அதிகமாகும். எனவே, பொருள் $2f$-க்கும், $\infty$-க்கும் இடையே அமையும்பொழுது, பிம்பம் $f$-க்கும் $2f$-க்கும் இடையில் அமைகிறது.



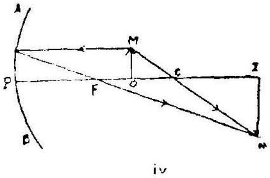

ii
படம் 2·19

iii. பொருள் $2f$-ல் அமைந்தால், $\frac{1}{u}+\frac{1}{2f}=\frac{1}{f}$ எனவே, $\frac{1}{v}=\frac{1}{2f}$ ஆகையால், $v=2f$ எனவே, பிம்பமும் $2f$-ல் அமைகிறது.



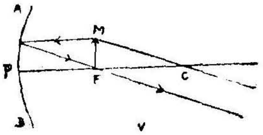

iii
படம் 2·19

(iv) பொருள் $f$-க்கும் $2f$-க்கும் இடையில் அமைந்தால் பிம்பம் $2f$-க்கு அப்பால் அமையும்.




படம் 2·19.

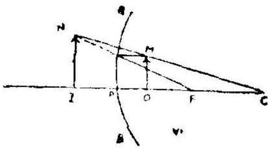
(v) பொருள் $f$-ல் அமைந்தால் $\frac{1}{v}+\frac{1}{f}=\frac{1}{f}$ ஆகையால் $v=\infty$. எனவே, பிம்பம் எண்ணிலாத் தொலைவில் அமைகிறது.




படம் 2·19

(vi) பொருள் $f$க்குள் அமைந்தால் $f$-ஐவிட $v$ சிறியதாகையால், $\frac{1}{u}>\frac{1}{f}$ எனவே, $\frac{1}{v}$ ஓர் எதிர்க்குறியாகத் தான் அமையும். அதாவது $v$ எதிர்க் குறியாகத்தான் அமையும் ஆதலால் தோன்றும் பிம்பம் மாய பிம்பமாகும்.

2·20. பரிசோதனைகள்: 1) ஒரு குழி ஆடியின் குவியதூரத்தைக் கண்டுபிடித்தல்:




படம் 2·19 vi

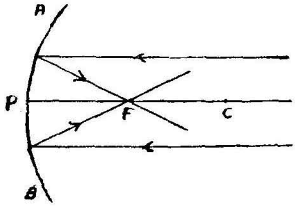
(அ) இடமாறு தோற்றமுறை (Parallax method) தொலைவில் அமைந்த இரண்டு பொருள்களை நோக்கும் பொழுது, அவை ஒன்றுக்கொன்று வேறுபட்ட தொலைவில் இருந்தால், கண்களைச் சிறிதே இடப்புறமும் வலப் புறமும் சாய்த்து நோக்க அப் பொருள்கள் ஒன்றிற்கொன்று எதிரிடையான திசையில் நகருவதுபோலத் தோன்றும். அவ்வாறன்றி இரு பொருள்களும் நம் கண்களிலிருந்து ஒரே தொலைவில் இருந்தால், அவை ஒன்றிற்கொன்று எதிரிடையாக நகராது. இந்த இயல்பைப் பயன்படுத்தி ஒரு குழி ஆடியின் வளைவு ஆரத்தைக் காணலாம். இம் முறையை மாய பிம்பத்திற்கும் உபயோகிக்கலாம்.

வெண்மையான ஒரு குண்டூசியைக் கொடுக்கப்பட்ட குழி ஆடியின் முன்பு நிலைக்குத்தாக நிறுத்தவும்.

குண்டூசிக்கு முன் கண்களைப் பதித்துச் சற்றே கண்களை வலப் புறமாகவும், இடப்புறமாகவும் ஓட்டி, குண்டூசிக்கும், அதன் பிம்பத்திற்கும் இடையே எதிரிடையியக்கம் இருக்கிறதா என்று காணுதல் வேண்டும். அவ்வாறு இருப்பின், குண்டூசியைச் சீராக முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி, எந்த ஓர் இடத்தில் எதிரிடை இயக்கம் இல்லையோ, அங்குக் குண்டூசியைப் பொருத்தவும். அந்த

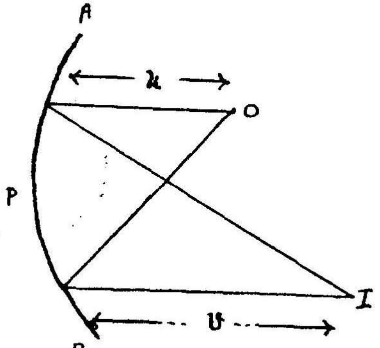
இடத்திலேயேதான் குண்டூசியின் பிம்பமும் விழுகின்றது. ஏனெனில், இந்த இடத்திலே வைக்கப்பட்ட குண்டூசியையும், இதன் பிம்பத்தையும்நோக்கும்பொழுது இடமாறு தோற்றம்(parallax errore) இல்லை. பொருளின் பிம்பமும் பொருளும் ஆடியினின்றும் ஒரே தொலைவில் இருப்பதால், பொருள், ஆடியின் வளைவுமையத்தில் உள்ளது. எனவே ஆடிக்கும் பொருளுக்கும் உள்ள தொலைவு, ஆடியின் வளைவு ஆரம் ஆகும். வளைவு ஆரத்தில் பாதி, குவியத் தூரம் ஆகும்.

(ஆ) தொலைபொருள் முறை: ஆடியைச் செங்குத்தான தாங்கி ஒன்றில் பொருத்தி, தொலைவில் உள்ள மரம் அல்லது கட்டிடம் போன்ற பொருளை நோக்கித் திருப்பவும். ஆடிக்கு முன்னால் ஒரு திரையை வைத்து, திரையில், பொருளின் பிம்பம் தெளிவாக விழுமாறு, திரைக்கும் ஆடிக்கும் உள்ள தொலை வைச் சரிசெய்யவும். தொலைபொருளி லிருந்து வரும் ஒளிக் கற்றைகள், இணை கதிர்களாதலால், அவை ஆடியின் முதன்மைக் குவியத்தில் குவிந்து, பொருளின் பிம்பம் ஒன்றை உருவாக்கும் (படம் 2·20). எனவே, திரைக்கும் ஆடிக்கும் இடையே உள்ள தொலைவு ஆடியின் குவியத் தூரம் ஆகும்.



படம் 2·20

(இ) *u-v* முறை: ஒளியூட்டப்பட்ட கம்பிவலைத் துண்டு ஒன்றைப் பொருளாகப் பயன்படுத்துவது முறை. சிறிய மரப்பெட்டி



படம் 2·21

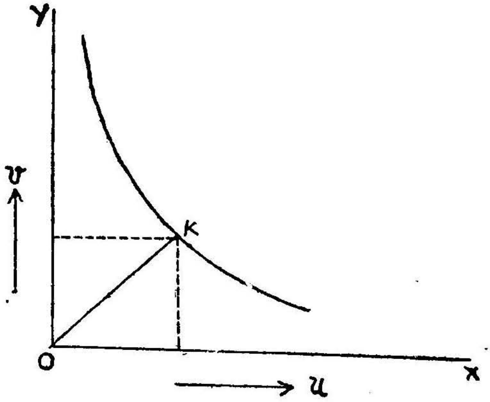
ஒன்றின் ஒரு பக்கத்திலுள்ள துளையில் கம்பிவலைத் துண்டு ஒன்று பொருத்தப்பட்டு, பெட்டியினுள் வைக்கப்பட்டுள்ள மின்விளக்கால் ஒளியூட்டப்படுகின்றது. பொருளைத் தாங்கியில் பொருத்தப்பட்ட

ஆடிக்கு முன், ஆடியின் குவியத்தூரத்திற்குச் சற்று அதிகமான தொலைவில் வைக்கவும். பொருள் குவியத்தூரத்திற்குக் குறைவான தொலைவில் வைக்கப்பட்டால், மெய்பிம்பம் உருவாகாமல், மாய பிம்பம்தான் உருவாகும் என்பது தெளிவு. மாய பிம்பத்தைத் திரையில் பிடிக்க இயலாது. அடுத்து, ஆடிக்கு முன் ஒரு திரையை வைக்கவும். பொருளின் பிம்பம் திரையில் தெளிவாக விழும்படி திரைக்கும் ஆடிக்கும் இடையே உள்ள தொலைவைச் சரி செய்யவும். இப்பொழுது ஆடியிலிருந்து பொருளின் தொலைவை $u$ எனவும், பிம்பத்தின் தொலைவை $v$ எனவும் வைத்துக்கொண்டு அவற்றின் அளவீட்டைக் காணவும் (படம் (2·21).

$\frac{1}{f}=\frac{1}{u}=\frac{1}{v}$ அல்லது $f=\frac{uv}{u+v}$. எனவே, $f$-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். பொருள் ஆடிக்கு முன் வைக்கப்படும் தூரத்தைச் சிறிது சிறிதாக மாற்றி, ஒவ்வொரு முறையும் $u\,u$ இவற்றிற்கான அளவீடுகளைப் பின்வருமாறு அட்டவணைப் படுத்தவும்.

| சோதனை எண் | ஆடியிலிருந்து பொருளின் தொலைவு $u$ | ஆடியிலிருந்து பிம்பத்தின் தொலைவு $v$ | குவியத்தூரம் $f=\frac{uv}{u+v}$ |
|---|---|---|---|

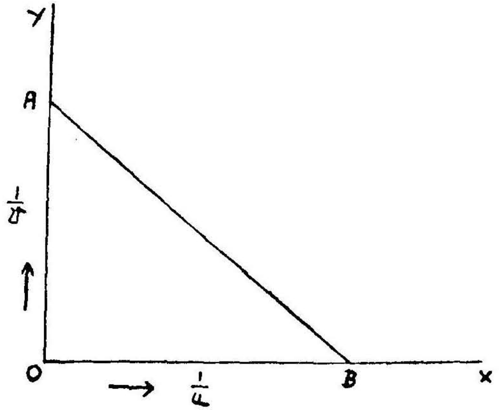
அட்டவணையில் கண்ட சராசரி குவியத்தூரத்தை ஆடியின் குவியத்தூரம் எனக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.




படம் 2·22

(ஈ) வரைபட முறை: மேற்கண்ட அட்டவணையிலுள்ள $u$, $v$ இவைகளின் மதிப்புகளை X அச்சில் $u$-வின் மதிப்பையும், Y அச்சில் $v$-ன் மதிப்பையும் எடுத்துக்கொண்டு ஒரு வரைபடம் வரையவும்.

இரு அச்சுக்களில் அளவுத் திட்டங்களும், தொடக்கமும் ஒன்றாக அமையவேண்டும். பின்னர் அச்சுக்களுக்கு 45° கோணத்தில் சாய்வாக ஒரு நேர்கோடு வரையவும். இது வரைபடத்தை K என்ற புள்ளியில் வெட்டுமாயின், K என்ற புள்ளியில் $u$, $v$-யின் மதிப்புகள் சமம். எனவே, இந்தப் புள்ளியில் $u = v = 2f$ ஆகும்.



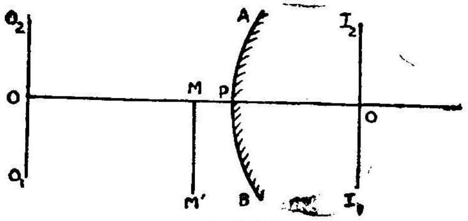

படம் 2·23

X அச்சில் $\frac{1}{u}$ வும் Y அச்சில் $\frac{1}{v}$ யும் எடுத்துக்கொண்டால், வரைபடம் AB என்ற நேர்கோடாக அமையும் (படம் 2·23). முன் கூறியபடி, வரைபட அளவு த் திட்டமும், தொடக்கமும் இரு அச்சுக்களுக்கும் ஒன்றாக அமைய வேண்டியது அவசியம். A என்ற புள்ளியில் $\frac{1}{v}$ வின் மதிப்பு சுழியாகும். அதாவது, $\frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ எனவே, OA யின் அளவு $\frac{1}{f}$ ஆக அமையும். இது போலவே OB யின் மதிப்பும் $\frac{1}{f}$ ஆகும். இதிலிருந்து $f$-ஐக் கணக்கிடலாம்.

2. குவி ஆடியின் குவியத் தூரத்தைக் காணல்: குவி ஆடி எப்பொழுதுமே மாய பிம்பத்தைத்தான் உருவாக்கும். ஆதலால், சில மறைமுகப் பரிசோதனை (துணைப் பரிசோதனை) களின் மூலம் தான் குவியத் தூரத்தைக் காண இயலும்.

(அ) APB என்பது ஒரு குவியாடியாகும். படம் 2·24 MM′ என்ற சமதள ஆடியைப் படத்தில் கண்டவாறு, குவி ஆடியின் முதன்மை அச்சிற்குக் கீழ்ப்பாதியில் வைக்கவும். $O_1 OO_2$ என்ற ஒரு குண்டூசியை இந்த இரு ஆடிகளுக்கு முன்னும் வைக்கவும். இதன் பிம்பம், மேல்பாதியில் குவி ஆடியினாலும், கீழ்ப்பாதியில் சமதள ஆடியினாலும் உருவாகின்றது.

பிறகு கண்களை இட, வலப் பக்கமாகச் சாய்த்து நோக்கும் பொழுது, இந்த இரு பிம்பங்களுக்கிடையே எதிரிடை யியக்கம்




படம் 2·24

இல்லாமல் அமையுமாறு சமதள ஆடிக்கும் குவி ஆடிக்கும் இடையே உள்ள தூரத்தைச் சரிசெய்யவும். சமதள ஆடியினுல் அமையும் பிம்பம் பொருள், ஆடிக்கு முன் எவ்வளவு தொலைவில் அமைகிறதோ, அதே தொலைவில் அமையுமாதலால்,

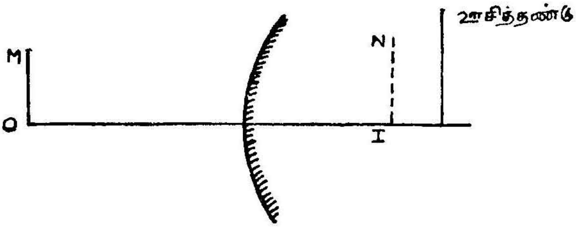
$$OM = MI = MP + PI$$

$$\therefore \quad PI = MI - MP$$

$$= OM - MP$$

குவி ஆடிக்கு, PI, PO இவை முறையே $v$ ஆகவு $u$ ஆகவும் அமை தலால் $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ என்ற சமன்பாட்டின்படி $f$-ஐக் கண்டறியலாம்.

(ஆ) இடமாறு தோற்ற முறை : APB என்ற குவி ஆடிக்கு முன் ஓர் ஊசித்தண்டையும் ஆடிக்குப்பின் மற்றொரு ஊசித் துண்டையும் வைக்கவும் (படம் 2 25). OM என்ற தண்டின் பிம்பம் IN-ல் விழுகிறது என வைத்துக்கொள்வோம். பின்புறம் வைக்கப்பட்ட ஊசித்தண்டைச் சிறிதுசிறிதாக நகர்த்தி, எந்த ஓர் இடத்தில் கண்களை வலப்புறமும் இடப்புறமும் திருப்பும்




படம் 2·25

பொழுது, பிம்பத்திற்கும், பின்புறம் வைக்கப்படும் ஊசித்தண்டிற்கு மிடையே எதிரிடை இயக்கம் இல்லையோ, அங்கு அத் தண்டைப் பொருத்தவும். பின்புறம் வைக்கப்பட்டுள்ள ஊசித்தண்டின் தூரம்

தான் பிம்பத்தின் தூரம். ஆதலால், ஆடியிலிருந்து இரு ஊசித் தண்டின் தூரத்தை $u$, $v$ என்று கணக்கிட்டு $\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$ என்ற சமன்பாட்டின்படி $f$-ஐ அறியலாம்.

### மாதிரிக் கணக்குகள்

1. கொடுக்கப்பட்ட ஒரு குழி ஆடியின் வளைவு ஆரம் 40 செ.மீ. உருப்பெருக்கம் 4 மடங்காக இருக்கவேண்டுமாயின், பொருளை எந்த இரு இடங்களில் வைக்கவேண்டும் ?

அமையும் பிம்பங்களின் இடத்தையும் இயல்பையும் காண்.

(1) மெய்ப்பிம்பம்.

உருப்பெருக்கம் $m=\frac{v}{u}$ ஆதலால்,

$$v=mu$$

$$m=4$$

ஆதலால், $\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$ என்ற சமன்பாட்டில்

$$v=4u$$

$$f=20 \text{ செ.மீ.}$$

எனவே, $$\frac{1}{u}+\frac{1}{4u}=\frac{1}{20}$$

$$u=25 \text{ செ.மீ.}$$

பிம்பத்தின் தொலைவு $v=4u=100$ செ.மீ. $v$ நேர்குறியாக அமைவதால், ஆடியிலிருந்து 100 செ.மீ. தொலைவில் மெய்ப்பிம்பம் அமைகிறது.

(2) மாயபிம்பம்.

$$m=-\frac{v}{u}$$

$$\therefore \quad 4u=-v$$

$$\therefore \quad \frac{1}{u}-\frac{1}{4u}=\frac{1}{20}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{u}=\frac{1}{15}$$

$$\therefore \quad u=15$$

$v = -15 \times 4 = -60$ செ.மீ. எனவே, ஆடிக்குப்பின் 60 செ.மீ. தொலைவில் ஒரு மாயபிம்பம் தோன்றும்.

(2) ஒரு குவி ஆடிக்குமுன் 20 செ.மீ. தொலைவில் ஒரு பொருள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. குவி ஆடிக்குமுன் சற்றுத் தூரத்தில் முதன்மை அச்சிற்குக் கீழ்ப்பாதியில் ஒரு சமதள ஆடி வைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த இரு ஆடிகளின் பிம்பங்கள் ஒரே தளத்தில் இடமாறின்றி அமைகின்றன. சமதள ஆடிக்கும் பொருளுக்கும் இடையே உள்ள தொலைவு 20 செ.மீ.யானால் குவி ஆடியின் வளைவு ஆரத்தைக் காண்.

கொடுக்கப்பட்ட கணக்கிற்கான படம் 2·24 ஆக அமையும்.

O என்பது பொருளையும் M என்பது சமதள ஆடியையும் APB என்பது குழி ஆடியையும் குறிக்கும். கொடுக்கப்பட்ட கணக்கின் படி, OP=25 செ.மீ. OM=20 செ.மீ.

$\therefore$ MP=5 செ.மீ.

PA = MI − MP

= OM − MP

= 20

= 15 செ.மீ.

OP = $u$ = 25 செ.மீ.

PI = $v$ = 15 செ.மி.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \text{ ஆதலால்,}$$

$$-\frac{1}{f} = -\frac{1}{15} + \frac{1}{25}$$

$$= -\frac{75}{2}$$

$\therefore$ வளைய ஆரம் $2f = -75$ செ.மீ.

## பயிற்சி 2

1. பெர்மெட் விதியிலிருந்து ஒளி எதிரொளிப்பு விதியை நிரூபிக்கவும்.

2. ஒரு கோள ஆடியின் முன் வைக்கப்பட்ட பொருளின் தொலைவிற்கும், பிம்பத்தின் தொலைவிற்கும், மற்றும் வளைவு ஆரத்திற்கும் இடையே உள்ள சமன்பாட்டை நிரூபிக்கவும்.

3. கோள ஆடியின் எதிரொளிப்பிலிருந்து ஒரு பொருளின் உருப்பெருக்கம் காண்பது எவ்வாறு ?

4. ஒரு கோள ஆடியின் குவியத்திலிருந்து கொடுக்கப்பட்ட ஒரு பொருளின் தொலைவு X-ம் பிம்பத்தின் தொலைவு Y-யும் ஆனால், ஆடியின் குவியத்தூரம் $\sqrt{XY}$ இருக்குமென நிருபி.

5. ஒரு குழி ஆடியும், குவி ஆடியும், 60 செ.மீ. தொலைவில் இரு எதிரொளிப்புத் தளங்களும் ஒன்றையொன்று நோக்குமாறு வைக்கப்பட்டுள்ளன. இரு ஆடிகளுக்கும் நடுவில் ஒரு பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. பொருள் முதலில் குவி ஆடியிலும் பிறகு குழி ஆடியிலும் எதிரொளிக்கப்படுகிறது என்றால் பிம்பம் கடைசியில் அமையும் தொலைவைக் காண். கோளக ஆடிகளின் வளைவு ஆரம் 30 செ.மீ. (குழி ஆடியின் முன் 19·09 செ.மீ.யில் முடிவான பிம்பம் அமைகிறது).

6. ஒரு குழி ஆடியின் முன் 24 செ.மீ. தொலைவில் ஒரு பொருள் வைக்கப்பட்டால், பொருளின் அளவே உள்ள பிம்பம் கிடைக்கிறது. பொருளைப்போல் இருமடங்கு உருப்பெருக்கமுள்ள பிம்பம் கிடைக்க வேண்டுமாயின், பொருளை ஆடிக்கு முன் எவ்வளவு தொலைவில் வைக்கவேண்டும் ?

7. ஒரு குவி ஆடியின்முன் வைக்கப்பட்டுள்ள பொருளுக்கும் அதன் பிம்பத்திற்கும் இடையே உள்ள தூரம் 36 செ.மீ. மேலும், பிம்பத்தின் அளவு பொருளில் சரிபாதி ஆனால், ஆடியின் குவியத் தூரத்தையும், ஆடியின் முன், பொருளின் பிம்பத்தையும் காண்.

8. ஒரு குழி ஆடியினால் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒரு பொருளின் பிம்பத்தின் உருப்பெருக்கம் $\frac{1}{n}$ ஆடியின் குவியத்தூரம் $f$ ஆனால் ஆடியிலிருந்து பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள தொலைவு $(n+1)f$ என நிருபி.

9. ஒரு குவி ஆடியினால் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒரு பொருளின் பிம்பத்தின் உருப்பெருக்கம் $\frac{1}{n}$. ஆடியின் குவியத்தூரம் $f$ ஆனால் ஆடியிலிருந்து பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ள தொலைவு $(n-^1)f$ என நிருபி.

10. ஒரு குழி ஆடியினால் எதிரொளிக்கப்பட்ட சூரியனின் பிம்பத்தின் அளவு, அந்த ஆடியின் குவியத்தூரத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்குமென நிருபி.

11. குவியும் ஒளிக்கற்றை ஒன்று, குவி ஆடி ஒன்றில் எதிரொளிக்கப்பட்டால், ஆடிக்கு முன் 40 செ.மீ. தொலைவில் குவிகிறது. ஆடி இல்லாவிடில் அது ஆடி இருந்த இடத்திலிருந்து 20 செ.மீ. பின்னால் குவியும் என்றால் ஆடியின் குவியத்தூரம் என்ன ?

# 3. ஒளிவிலகல்

## சமதளப் பரப்பில் ஒளிவிலகல்

## (Refraction at a plane surface)

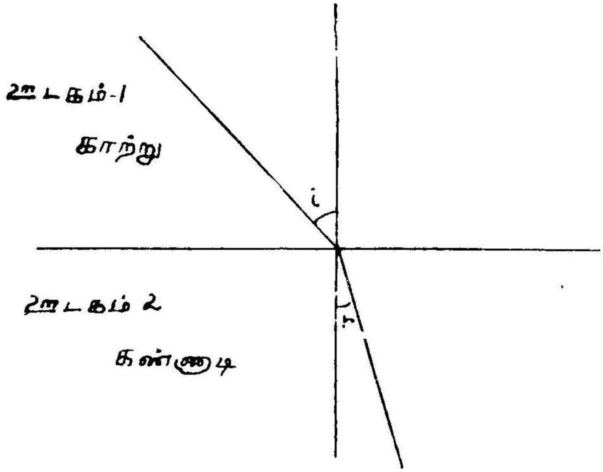
3·1. ஒரு படித்தான (homogenous) ஊடகத்தில் ஒளி செல்லும்பொழுது அது ஒரு நேர்கோட்டில் செல்கிறது. ஆனால், ஒளிக்கதிர் ஓர் ஊடகத்திலிருந்து மற்றோர் ஊடகத்திற்குச் செல்லும் பொழுது, இரு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் பிரிதளத்தை அடைந்தவுடன் அதன் திசை மாறுகின்றது. இவ்வாறு ஒளிக்கதிர் ஓர் ஊடகத்திலிருந்து மற்றோர் ஊடகத்தினுள் செல்லும்பொழுது ஏற்படும் திசைமாற்றம் ஒளி விலகல் எனப்படும். இவ்வாறு ஒளிக் கதிர் ஓர் ஊடகத்திலிருந்து மற்றோர் ஊடகத்தில் புகும்பொழுது அதன் திசை வேகமும் மாறுகின்றது. மேலும், ஓர் ஒளிக்கதிர், அடர்குறை ஊடகத்திலிருந்து அடர்மிகு ஊடகத்திற்குச் செல்லும் பொழுது விலகு கதிர், படுகைப்புள்ளியில் படுதளத்திற்கு வரையப் படும் நேர்குத்துக் கோட்டை நோக்கியும், அடர்மிகு ஊடகத்தி லிருந்து அடர்குறை ஊடகத்திற்குச் செல்லும்பொழுது, விலகு கதிர், நேர்குத்துக் கோட்டிலிருந்து விலகியும் செல்கிறது. படு கதிருக்கும், நேர்குத்துக் கோட்டிற்கும் இடைப்பட்ட கோணம் படுகோணம் என்றும், விலகு கதிருக்கும் நேர்குத்துக் கோட் டிற்கும் இடைப்பட்ட கோணம் விலகு கோணம் என்றும் கூறப்படும்.

**ஒளிவிலகல் விதிகள் :**

1. படுகதிர், விலகு கதிர், படுகைப்புள்ளியில் பிரிதளத்திற்கு வரையப்பட்ட நேர்குத்துக்கோடு ஆகிய மூன்றும் ஒரேதளத்தில் அமைகின்றன.

2. ஒற்றை நிறமுடைய ஒளிக்கதிர் இரு குறிப்பிட்ட ஊடகங் களிடையே ஒளிவிலகல் அடையும்பொழுது, படுகோணத்தின் 'சைனுக்கும் (sine) விலகு கோணத்தின் சைனுக்கும் உள்ள தகவு ஒரு மாறிலி ஆகும். ஒளியின் நிறமும், ஊடகங்களும் மாறுமல் இருக்கும்வரை மாறிலியின் மதிப்பும் மாருது.

படம் 3·1 ல் $\frac{\sin i}{\sin r}$ = ஒரு மாறிலி




படம் 3·1

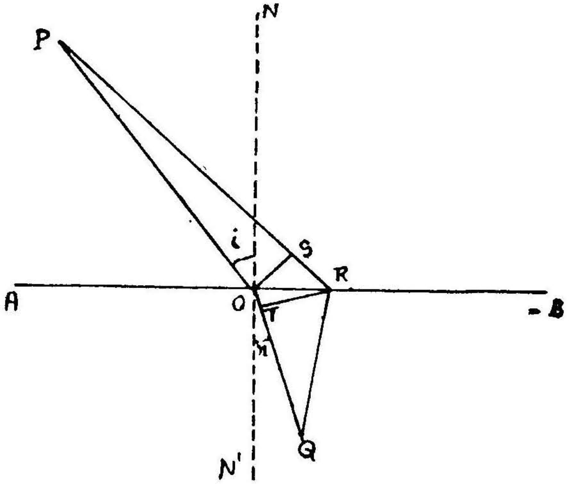
இம் மாறிலி முதல் ஊடகத்தைப் பொறுத்த இரண்டாவது ஊடகத்தின் ஒளிவிலகெண் என்று அழைக்கப்படுகின்றது. ஊடகம் 1 லிருந்து ஊடகம் 2க்கு ஒளி செல்வதற்கான விலகெண் என்று பொருள்படும்படியான விதமாக இதை $_1\mu_2$ என்று குறிக்கிறோம்.

ஓர் ஊடகத்தின் ஒளிவிலகெண் :

ஒரு குறிப்பிட்ட நிறமுடைய ஒளிக்கதிர், காற்று அல்லது வெற்றிடத்திலிருந்து ஊடகத்தினுள் செல்லும்பொழுது படு கோணத்தின் சைனுக்கும் விலகு கோணத்தின் சைனுக்கும் உள்ள மாறாத தகவு, அந்த ஊடகத்தின், அந்நிற ஒளிக்கான விலகெண் எனப்படும். படம் 3·1 ல் காற்றிலிருந்து கண்ணாடிக்கு ஒளிக்கதிர் செல்வதால், கண்ணாடியின் விலகெண், கா$\mu$கண் $= \frac{\sin i}{\sin r}$. சுருக்கமாக, இதை $\mu$கண் என்றும் குறிப்பிடலாம். காற்றிலிருந்து மற்றோர் ஊடகத்திற்கு, அவ் விரு ஊடகங்களின் பிரிதளத்திற்கு வரையப்பட்ட நேர்குத்துக் கோடுவழியே, செல்லும் கதிரின் படு கோணம் சுழி ஆதலால் விலகுகோணமும், சுழியாக அமையும். ஏனெனில் $\sin i = \mu \sin r$ என்ற சமன்பாட்டில் $\mu$ ஒரு மாறிலி. ஆகையால் நேர்குத்துக்கோடுவழியே இரு ஊடகங்களின் பிரிதளத்தை நோக்கிச் செல்லும் ஒரு கதிர், திசைமாறாமல் நேரே செல்லும். இது நேர்குத்து ஒளி விலகல் (normal refraction) எனப்படும்.

3·2. பெர்மெட் விதியும் ஒளிவிலகலும் : ஒளிவிலகலின் இரண்டாவது விதியை பெர்மெட் விதியின்படியும் நிரூபிக்கலாம்.

AB என்ற பிரிதளம் (படம் 3·2) $\mu_1$, $\mu_2$ விலகெண்ணுள்ள இரு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் பிரிதளமாகக் கொள்வோம். P என்ற இடத்திலிருந்து ஒளிக்கதிர் Q என்ற இடத்தை வந்தடைய ஒளி உண்மையாகச் செல்கின்ற பாதை POQ ஆக இருக்கட்டும். PRQ என்ற சிறிது வேறுபட்ட ஒரு பாதையின் போக்கையும் எடுத்துக் கொண்டால், பெர்மெட்டின் கூற்றுப்படி இந்த இரு ஒளி வழிகளுக்கான ஒளிப்பாதை (optical path) யின் வேறுபாடு சுழியாகும்.




படம் 3·2

ஏனெனில்,

$$\int \mu ds = \text{மாறுத எண்.} \quad \text{ஆதலால்}$$

$$\Delta \int \mu ds = O$$

படம் 3·2-ன் படி

$$(\mu_1 PR + \mu_2 RQ) - (\mu_1 PO + \mu_2 OQ) = O$$

$$\mu_1 (PR - PO) - \mu_2 (OQ - RQ) - = O$$

P யை மையமாகவும், POஐ- ஆரமாகவும், வைத்து வரையப்பட்ட வட்டம் PR-ஐ S இல் தொடும். இதுபோலவே Q வை மையமாகவும், QR ஐ ஆரமாகவும் வைத்து வரையப்படும் வட்டம் OQ வை T யில் தொடும். OS, OT இவைகளைச் சேர்த்தால்,

$$\mu_1 (PS + SR - PO) - \mu_2 (QT + TO - RQ) = O$$

$$PO = PS, \ RQ = QT, \quad \text{ஆதலால்}$$

$$\mu_2 TO = \mu_1 SR$$

எனவே, $\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{SR}{TO}$

$\triangle ORS$, $\triangle ORT$ என்ற இரு முக்கோணங்களிலும்

$\widehat{OSR} = \widehat{OTR} = 90^\circ$ ஆதலால்,

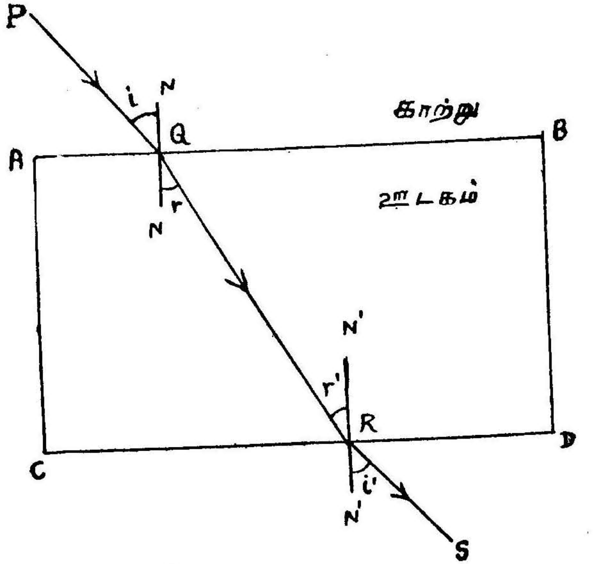
$RS = OR \sin \widehat{SOR} = OR \sin i$

$TO = OR \sin \widehat{TRO} = OR \sin r$

$\therefore \quad \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\sin i}{\sin r}$

எனவே ஊடகங்கள் இரண்டும் மாருமல் இருக்கும்வரை $\frac{\sin i}{\sin r}$ ஒரு மாறிலியாக இருக்கும் என்பது தெளிவு.

3·3. இணைபக்கங்களுடன் ஊடகத்தின் வழியே நிகழும் ஒளி விலகல் : AB, CD என்பது காற்றில் வைக்கப்பட்ட ஓர் ஊடகத்தின் இரு இணைபக்கங்கள் என்று கொள்வோம். (படம் 3·3) PQ என்ற திசையில் Q என்ற படுகைப்புள்ளியில் விழும் படுகதிர் பிரி




படம் 3·3

தளத்தில் திசைமாறி QR என்ற திசையில் ஊடகத்தினுள் செல்வதாகக் கொள்வோம். படுகோணம் $i$ ஆகவும் விலகுகோணம் $r$

ஆகவும் இருக்கட்டும். ஊடகத்தினுள் செல்லும் QR என்னும் விலகு கதிர், CD பிரிதளத்தில் R என்ற படுகைப் புள்ளியில் வரையப்பட்ட நேர்குத்துக் கோட்டிற்கு $r'$ கோணம் இருக்குமாறு CD பிரிதளத்தை வந்தடைகிறது. இந்தப் பிரிதளத்தில் மீண்டும் விலகி, ஒளிக்கதிர் RS என்ற திசையில் செல்கின்றது. RS விடுகதிர் (emergent ray) எனப்படும். விடுகோணம் $i'$ என்பதாகக் கொள்வோம். ABயும் CD-யும் இணைப்பக்கங்கள் ஆதலால்,

$$i = i', \quad r = r'$$

விடுகதிர், படுகதிருக்கு இணையாக அமையும் என்பதையும் நிரூபிக்கலாம். எனவே, ஓர் ஒளிக்கதிர் இணைப்பக்கங்களுடைய ஊடகத்தினுள் புகுந்து வெளிவரும்பொழுது இடப் பெயர்ச்சிதான் ஏற்படுகின்றது. திசைமாற்றம் ஏற்படுவதில்லை. மேலும், Q வில், காற்றிலிருந்து ஊடகத்தினுள் புகும் ஒளிவிலகலைக் கருதுவோமாயின், ஊடகத்தின் விலகெண், $_{கா}\mu_{ஊ} = \dfrac{\sin i}{\sin r}$

DC என்ற பிரிதளத்தில் நிகழும் ஒளிவிலகலைக் கருத்தினுள் கொண்டால், ஊடகத்தைப் பொறுத்துக் காற்றின் விலகெண்,

$$_{ஊ}\mu_{கா} = \frac{\sin r'}{\sin i'}$$

ஆனால், $i = i'$, $r = r'$

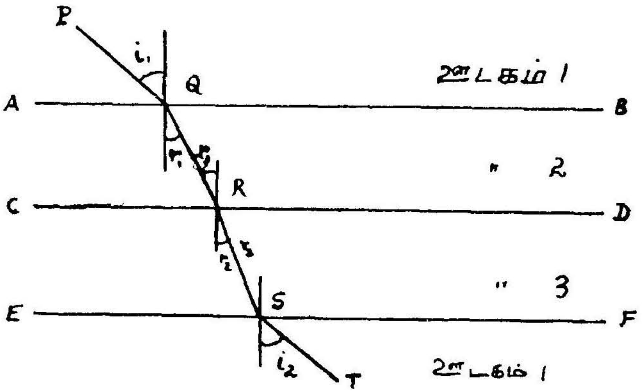
எனவே, $$_{ஊ}\mu_{கா} = \frac{\sin r}{\sin i} = \frac{1}{_{கா}\mu_{ஊ}}$$

அதாவது

$$_{ஊ}\mu_{கா} = \frac{1}{_{கா}\mu_{ஊ}} \qquad \text{.........(3·1)}$$

3·4. இணைப்பக்கங்களுடைய, இரண்டிற்கு மேற்பட்ட ஊடகங்களின் வழியே நிகழும் ஒளிவிலகல்: படம் 3·4ல் PQ என்ற ஒளிக்கதிர் AB என்ற பிரிதளத்தில் விழுந்து, இரண்டாவது ஊடகத்தினுள் திசை மாற்றம் அடைந்து QR என்ற திசையில் CD என்ற இரண்டாவது பிரிதளத்தை அடைகிறது. இந்தப் பிரிதளத்திலும் ஒளிவிலகல் ஏற்பட்டு, RS என்ற திசையில் மூன்றுவது ஊடகத்தைக் கடந்து மூன்றுவது ஊடகத்திற்கும், ஊடகம்—1-க்கும் இடைபட்ட EF, என்ற பிரிதளத்தை அடைகின்றது. இப் பிரிதளத்திலும் ஒளி விலகல் ஏற்பட்டு, ST என்ற திசையில் விடுபடுகின்றது. PQ என்னும் படுகதிரும் ST என்ற விடுகதிரும், ஒரே ஊடகத்தினுள் அமைவதால் இவை இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக அமையும். இடப்பெயர்ச்சிமட்டும், ஏற்படுகிறது திசை மாற்றம் இல்லை.

Q வில் படுகோணம் $i_1$ எனவும் விலகு கோணம் $r_1$ எனவும் கொள்வோம். R என்ற படுகைப்புள்ளியில் $r_1$ படுகோணமாக




படம் 3·4

அமையும். $r_2$ விலகு கோணமாக இருந்தால் S என்ற படுகைப் புள்ளியில் $r_2$ படுகோணமாக அமைகிறது. S இல் $i_2$ விடு கோணமாக அமையட்டும்.

ஒளிவிலகல் விதியின்படி,

$$ {}_1\mu_2 = \frac{\sin i_1}{\sin r_1} $$

$$ {}_2\mu_3 = \frac{\sin r_1}{\sin r_2} $$

$$ {}_3\mu_1 = \frac{\sin r_2}{\sin i_2} $$

$$ \therefore \quad {}_1\mu_2 \cdot {}_2\mu_3 \cdot {}_3\mu_1 = \frac{\sin i_1}{\sin r_1} \cdot \frac{\sin r_1}{\sin r_2} \cdot \frac{\sin r_2}{\sin i_2} $$

$$ = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} $$

படுகதிரும், விடுகதிரும் இணையாக அமைவதால்,

$$ i_1 = i_2 $$

எனவே, ${}_1\mu_2 \cdot {}_2\mu_3 \cdot {}_3\mu_1 = 1$

$$ \therefore \quad {}_2\mu_3 = \frac{1}{{}_1\mu_2 \cdot {}_3\mu_1} $$

மேலும்,

$$ {}_{3}\mu_{1} = \frac{1}{{}_{1}\mu_{3}} $$

ஆகையால்,

$$ {}_{2}\mu_{3} = \frac{{}_{1}\mu_{3}}{{}_{1}\mu_{2}} \quad \text{.........3·2} $$

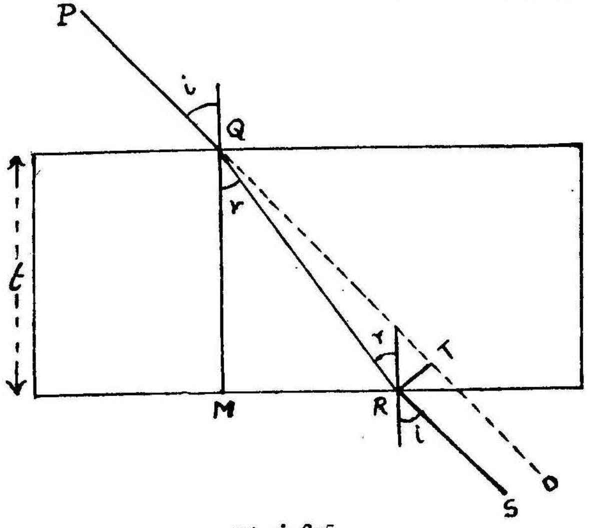
மேலும் ஊடகம் காற்றாகவோ அல்லது வெற்றிடமாகவோ இருப்பின், ${}_{2}\mu_{3} = \frac{\mu_3}{\mu_2}$

மேலும்

$$ \sin i_1 = \mu_2 \sin r_1 $$
$$ \sin i_3 = \mu_3 \sin r_3 $$
$$ \therefore \quad \mu_2 \sin r_1 = \mu_3 \sin r_2 $$

பொதுவாக இந்தச் சமன்பாட்டை $\mu \sin\theta$ ஒரு மாறுத எண் என்றும் கூறலாம். அதாவது, $\mu$ விலகெண் உள்ள ஓர் ஊடகத்தின் வழியே செல்லும் ஓர் ஒளிக்கதிர், பிரிதளத்தில் $\theta$ படுகோணத்தில் விழுந்தால் அது $\mu \sin\theta$ ஒரு மாறிலியாக இருக்குமாறு இரண்டாவது ஊடகத்தினுள் செல்லும்.

**3·5. பக்கப் பெயர்ச்சி : (Lateral Displacement) :** PQ என்ற கதிர் முதல் ஊடகத்திலிருந்து இரண்டாவது ஊடகத்தினுள் ஒளி




படம் 3·5

விலகல்மூலம் சென்று இரண்டாவது பிரிதளத்தில் மீண்டும் ஒளி விலகல் ஏற்பட்டு RS என்ற திசையில் செல்கின்றது. (படம் 3 5.)

PQ-வும், RS-ம் இணையாக அமையும். PQ-வை O-வரை நீட்டி R-ல் இருந்து PQO-விற்கு ஒரு நேர்குத்துக்கோடு வரைந்தால், அது PQO-வை T-யில் தொடுகிறது. RT, PQ-வின் பக்கப் பெயர்ச்சி எனப்படும்.

இரண்டாவது ஊடகத்தின் கனம் $t$ எனக் கொள்வோம்.

$\triangle$ QRT-யில்

$$RT = QR \sin RQT$$
$$= QR \sin (i-r)$$

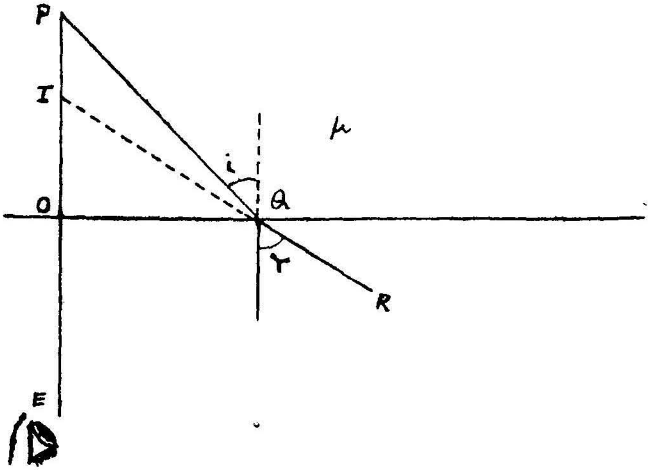
மேலும், QMR என்ற முக்கோணத்தில் $\frac{QM}{QR} = \cos r$

$$\therefore \quad QR = \frac{t}{\cos r}$$

$$\therefore \quad RT = \frac{t}{\cos r} \cdot \sin (i-r) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3{\cdot}3)$$

எனவே, பக்கப் பெயர்ச்சி, ஊடகத்தின் கனத்தையும் ஒளிக் கதிரின் படுகோணத்தையும் பொறுத்து அமையும்.

3·6. நேர்குத்து ஒளிவிலகல்மூலம் ஒரு பொருளின் பிம்பத்தைக் காணல் : P என்ற ஒரு புள்ளிப் பொருள் $\mu$ என்ற ஒளிவிலகல் எண்ணுள்ள ஊடகத்தினுள் இருப்பதாகக் கொள்வோம் (படம் 3·6).




படம் 3·6

P-யிலிருந்து ஓர் ஒளிக்கதிர் பிரிதளத்திற்கு நேர்குத்தாகச் சென்றால் அது திசைமாறாமல் நேராக OE வழியே செல்லும். PQ

என்ற மற்ருேர் ஒளிக்கதிர் Q என்ற படுகைப் புள்ளியில் $i$ படு கோணத்தில் விழுந்தால், அது திசைமாறி விலகுகோணம் $r$ இருக்கும் படி QR என்ற திசையில் செல்கிறது. RQ வைப் பின்னுக்கு நீட்டி ஞல் அது PO-வை I யில் தொடுகிறது. பொருள் I-ல் இருப்பது போல் தோன்றும்.

$$\frac{\sin r}{\sin i} = \mu$$

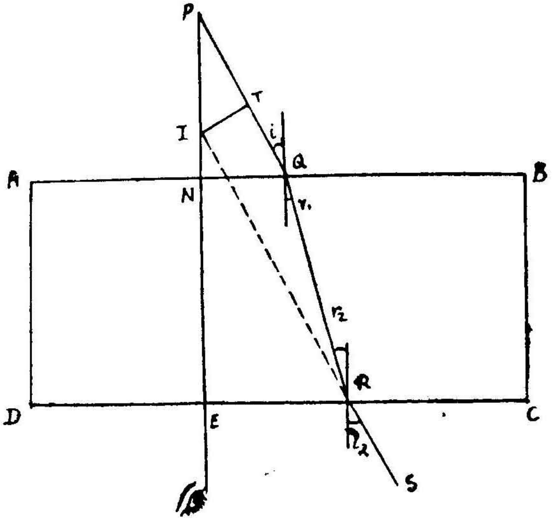
ஆனல்,
$$\sin i = \frac{OQ}{PQ}$$

$$\sin r = \frac{OQ}{IQ}$$

O, வும் Q வும் அருகருகே இருந்தால், PQ = PO எனவும் IQ = IO எனவும் வைத்துக்கொள்ளலாம். எனவே,

$$\frac{\sin r}{\sin i} = \frac{OQ}{IQ} \cdot \frac{PQ}{OQ} = \frac{PQ}{IQ} = \frac{PO}{IO}$$

$$\therefore \mu = \frac{PO}{IO} = \frac{\text{பிரிதளத்திலிருந்து பொருளின் மெய்த்தொலைவு}}{\text{பிரிதளத்திலிருந்து பொருளின் தோற்றத்தொலைவு}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \; 8.4.$$




படம் 3·7

3-7, பிரிதளத்திலிருந்து தள்ளியுள்ள பொருளின் இடப்பெயர்ச்சி காணல்:

P என்ற புள்ளிப் பொருளிலிருந்துவரும் ஒளிக்கதிர் ஓர் ஊட கத்தின் வழியாக நேர்குத்தாகத் தம் கண்ணை அடைகிறது. சற்றுச் சாய்ந்துள்ள மற்ருெரு கதிர்Q என்ற படுகைப்புள்ளியில் $i$ படுகோணத் தில் விழுந்தால் (படம் 3.7) அது AB என்ற பிரிதளத்தில் திசைமாறி, QR என்ற பாதை வழியே CD என்ற பிரிதளத்தை அடைகிறது. CD-யில் மீண்டும் ஒளிவிலகல் ஏற்பட்டு RS திசையில் வெளிச் செல்கிறது. SR-ஐப் பின்னுக்கு நீட்டினுல் PE-யை அது I-ல் தொடுகிறது. I-லிருந்து PQ விற்கு ஒரு நேர்குத்துக்கோடு வரைந்தால் அது PQ வை T யில் தொடும். இப்பொழுது IT யின் அளவுதான் PQ-வின் பக்கப்பெயர்ச்சி (lateral displacement). E யிலிருந்து பார்க்கும்பொழுது P என்ற புள்ளிப்பொருள் I-யில் இருப்பதுபோல் தோன்றும். PI-யின் அளவுதான் நேர்குத்துப் பெயர்ச்சி (normal displacement) யாகும்.

$$IT = \frac{t}{\cos r} \cdot \sin (i - r)$$

$$= t \left\{ \frac{\sin i \cos r - \cos i \sin r}{\cos r} \right\}$$

$$PI = \frac{IT}{\sin i} = t \left\{ \frac{\sin i \cos r - \cos i \sin r}{\cos r} \right.$$

$$= t \left\{ 1 - \frac{\cos i}{\mu \cos r} \right\}$$

QR ம் NE-யும் மிக நெருக்கமாகவும், கண்களால் அந்த இரண்டு கதிர்களையும் ஒரே சமயத்தில் பார்க்குமாறும் அமைந்தால், $i$-யும் $r$-வும் சிறுகோண அளவே இருக்கும். எனவே, $i = r = O$ எனக் கொள்ளலாம். ஆகையால் நேர்குத்துப் பெயர்ச்சி SN = PI

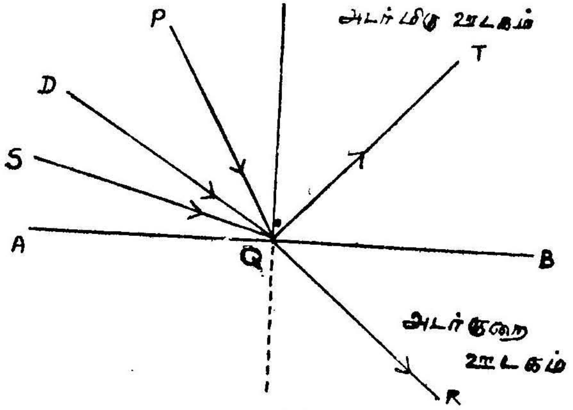
$$= t\left(1 - \frac{1}{\mu}\right) \qquad \text{.........3·5.}$$

பொருள், காற்று அல்லது வெற்றிடத்தில் வைக்கப்படாமல், $\mu_1$ என்ற ஊடகத்தினுள் வைக்கப்பட்டு $\mu_2$ என்ற ஊடகத்தின் வழி யாகக் காணும்பொழுது ஏற்படும் நேர்குத்துப்பெயர்ச்சி,

$$t\left(1 - \frac{\mu_1}{\mu_2}\right) \text{ ஆகும்} \qquad \text{.........3·6}$$

விண்மீன்களிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் வெற்றிடத்தில் ஊடுருவி வெகுதூரம் கடந்தபிறகு இப்புவியைச் சுற்றியிருக்கும் காற்று ஊடகத்தினுல் திசைமாற்றப்பட்டு நம் கண்களை அடை வதால், அந்த விண்மீன்கள் உண்மையாக இருக்கும் தொலைவைவிட அதிகமான தொலைவில் இருப்பதாக நமக்குத் தோன்றுகின்றன.

இதுபோலவே தண்ணீருள்ள ஒரு கிண்ணத்தின் அடியிலுள்ள ஒரு பொருள், அது உண்மையாக உள்ள தூரத்தைவிடக் குறைவான தொலைவில் இருப்பதுபோலத் தோன்றும்.




படம் 3.8

3.8. முழு அக எதிரொளிப்பு (Total internal reflection): PQ என்ற ஒளிக்கதிர் அடர்மிகு ஊடகத்திலிருந்து அடர்குறை ஊடகத்தினுள் செல்வதாகக் கொள்வோம். AB என்ற பிரிதளத்தில் அது நேர்குத்துக்கோட்டிலிருந்து விலகி QR என்ற திசையில் செல்லும் (படம் 3·8). PQ வின் படுகோணத்தைச் சற்றே அதிகரித்தால், $\sin i = \mu \sin r$ இருக்குமாறு விலகுகோணமும் அதிகரிக்கிறது. $\mu$ வின் மதிப்பு 1க்கு மேல் ஆதலால் $r$ ஐவிட $i$ யின் கோணம் அதிகமாக இருக்கும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட படுகோணமுடைய ஒளிக்கதிருக்கான விலகு கோணம் 90° அமையமுடியும். இந்த விலகுகோணம்தான் பெரும அளவாகும். படத்தில் OQ என்ற படுகதிருக்கான விலகு கோணம் 90° ஆக அமையுமானால், விலகுகதிர் பிரிதளத்திற்கு இணையாக QB என்ற வழியே செல்லும். படுகோணத்தின் அளவு மேலும் அதிகரிக்கப்பட்டால், அது இரண்டாவது ஊடகத்தினுள் செல்லாமல், பிரிதளத்தில் எதிரொளிக்கப்பட்டு, முதல் ஊடகத்திலேயே மீண்டும் செல்லும். இந்த எதிரொளிப்பு முழு அக எதிரொளிப்பு எனப்படுகிறது.

3.9. ஓர் ஊடகத்தின் மாறுநிலைக் கோணம் (Critical angle): கொடுக்கப்பட்ட ஓர் ஊடகத்திலிருந்து ஓர் ஒளிக்கதிர் காற்றினுள் ஒளிவிலகல்மூலம் ஊடுருவும்பொழுது எந்தப் படுகோணத்

திற்கான விலகுகோணம் 90° ஆக அமையுமோ, அந்தப் படுகோணம், ஊடகத்தின் மாறுநிலைக் கோணம் எனப்படும்.

முழு எதிரொளிப்பு நிகழ்வதற்கான தகுதிகள் :

1. அடர்மிகு ஊடகத்திலிருந்து அடர்குறை ஊடகத்திற்கு ஒளி செல்லவேண்டும்.

2. அடர்மிகு ஊடகத்தில் படுகோணம், அதன் மாறுநிலைக் கோணத்தைவிட அதிகமாக இருக்கவேண்டும். படம் 3.8-ல் SQ என்ற கதிரின் படுகோணம் மாறுநிலைக் கோணத்தைவிட அதிகமாக அமைவதால் அது QT என்ற திசையில் எதிரொளிக்கப்படுகின்றது.

3.10. மாறுநிலைக் கோணமும் விலகெண்ணும் : படம் 3.8-ல் OQ என்ற படுகதிர் குத்துக்கோட்டுடன் அமைக்கும் கோணம், மாறுநிலைக் கோணம் (C) எனக் கொள்வோம். இதன் விலகு கோணம் 90° ஆக அமையும்.

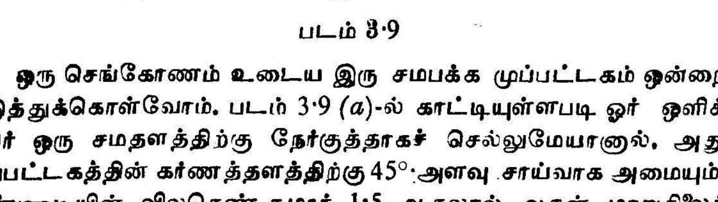
எனவே,

$$_{ஊ}\mu_{கா} = \frac{\sin C}{\sin 90} = \sin C$$

$$\therefore \text{ ஊடகத்தின் விலகு எண் } {}_{கா}\mu_{ஊ} = \frac{1}{_{ஊ}\mu_{கா}}$$

$$= \frac{1}{\sin c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 3\cdot7$$

3·11. முழு அக எதிரொளிப்பு முப்பட்டகங்கள் : ஓர் ஒளிக் கதிரின் பாதையை, ஒரு முப்பட்டகத்தில் முழு அக எதிரொளிப்பின் மூலம் திசைமாற்ற முடியும்.



படம் 3·9

ஒரு செங்கோணம் உடைய இரு சமபக்க முப்பட்டகம் ஒன்றை எடுத்துக்கொள்வோம். படம் 3·9 (a)-ல் காட்டியுள்ளபடி ஓர் ஒளிக் கதிர் ஒரு சமதளத்திற்கு நேர்குத்தாகச் செல்லுமேயானால், அது முப்பட்டகத்தின் கர்ணத்தளத்திற்கு 45° அளவு சாய்வாக அமையும். கண்ணாடியின் விலகெண் சுமார் 1·5 ஆதலால் அதன் மாறுநிலைக்

கோணம் சுமார் 42° ஆகும். எனவே, இந்தச் சமதளப் பரப்பில் படுகதிரின் படுகோணம், மாறுநிலைக் கோணத்தைவிட அதிகமாக அமைவதால், முழு அக எதிரொளிப்பு ஏற்பட்டு மூன்றுவது சமதளப் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாகத் திரும்பி வெளிவருகின்றது. ஆகவே, படுகதிர் 90° திருப்பப்படுகின்றது. இத்தகைய அமைப்பு பெரிஸ் கோப்புக்களில் (periscope) பயன்படுத்தப்படுகின்றது.

முழு அக எதிரொளிப்புமூலம் ஓர் ஒளிக்கற்றையை 180° திருப்பும் முறையைப் படம் 3·9 (*b*) விளக்குகின்றது. இரு சமபக்க செங்கோண முப்பட்டகங்கள் இரண்டின்வழியாக ஒளிக்கற்றை செல்லுமாறு அமைக்கப்படும் முறை. பைனுகுலர் என்னும் இரட்டைத் தொலைநோக்கியில் பயன்படுத்தப்படுகின்றது.

ஒரு பொருளைத் திசைமாற்றம் இன்றித் தலைகீழாகத் தெரியும்படி அமைக்கும் முறை படம் 3·9 (*c*)-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

ஒரு ரசம் பூசப்பட்ட ஆடியில் எதிரொளிப்பு நிகழ்ந்தாலும் ஒளிச் சக்தியின் ஒரு பகுதி ஊடுருவல் மூலமாகவும், ஒளிச்சிதறல் மூலமாகவும் வீணுகிறது. ஒளிச்சக்தியின் முழு அளவையும் எதிரொளிக்கக்கூடிய ஆடி இருக்கமுடியாது. ஆனுல், முழு அக எதிரொளிப்பு முறையில் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளியின் பொலிவு 100% ஆகும் மேலும் புற ஊதாக் (ultra violet) கதிர்கள் போன்ற, ஆடிகளினுல் எதிரொளிக்கப்படமுடியாத ஒளிக்கற்றை களையும் முழு அக எதிரொளிப்பு மூலம் திசை திருப்பலாம்.

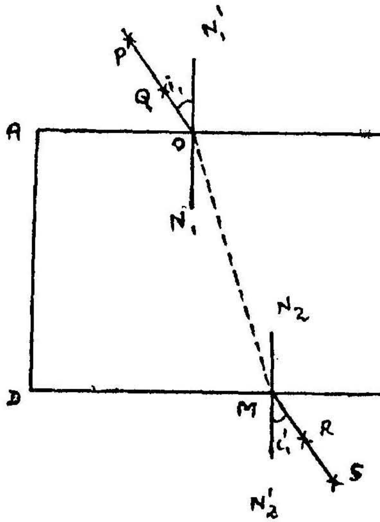
சமதள ஆடியில் பூசப்படும் வெளிப்பூச்சு சில நாட்களுக்குப் பின்னர்க் கெட்டுவிடும். இதுபோன்ற இடையூறுகள் முழு அக எதிரொளிப்பு முறையில் எழுவதில்லை. ஆகையால் ஒளியியல் கருவிகளில் சமதள ஆடிகளுக்குப் பதிலாக முழு அக எதிரொளிப்பு முப்பட்டகங்கள் சிறப்பாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

## பரிசோதனைகள்

3·12. (அ) ஒளிவிலகல் விதிகளைச் சோதனை மூலம் நிரூபித்தல்: வரை பலகை ஒன்றின்மீது பொருத்தப்பட்ட காகிதத்தின்மேல் ஒரு செவ்வக வடிவமுள்ள கண்ணுடிப் பாளத்தை வைத்து அதன் எல்லைகளை (ABCD) வரைந்து கொள்ளவும் (படம் 3·10).

AB-யில் O என்ற புள்ளியில் இருந்து வரைந்த N, $ON_1'$ என்ற நேர்குத்துக் கோட்டிற்கு 40° அமையுமாறு ஒரு நேர்கோடு வரையவும். இந்த நேர்கோட்டின் மேல் P, Q என்ற புள்ளிகளில் குண்டூசிகளைச் செங்குத்தாக நிறுத்தவும். இப்பொழுது பாளத்தை ABCD-யில் பொருத்தி வைக்கவும். P, Q என்ற இரு குண்டூசிகளை

யும் CD-யின் வழியே நோக்கி அவற்றின் பிம்பங்களோடு ஒரே நேர் கோட்டில் அமையுமாறு R, S என்ற இரு குண்டூசிகளையும் செங்




படம் 3·10

குத்தாகப் பொருத்தவும். குண்டூசிகளின் இடத்தைக் குறித்தபின், குண்டூசிகளையும், பாளத்தையும் அப்புறப்படுத்தவும். RS-ஐச் சேர்க்கவும். PQ வழியாகச் செல்லும் படுகதிருக்கு RS விடுகதிராக அமைகிறது. RS, CD-யை M-ல் தொடுகிறது. OM-ஐச் சேர்த்தால் OM விலகு கதிராக அமையும். $N_1\widehat{O}M$, $O\widehat{M}N_2$ மற்றும் $N_2'\widehat{M}R$ இவற்றை அளக்கவும்.

முதல் விதி : PQ என்ற குண்டூசிகளின் முனைகளின்வழியே செல்லும் கதிர் பாளத்தின் வழியே சென்றபின், RS என்ற குண்டூசிகளின் முனைகள் வழியே வெளியேறுகின்றது. அதாவது படுகதிரும், விடுகதிரும் ஒரே தளத்தில் அமைகிறது. எனவே விலகு கதிரும் ஒரே தளத்தில் அமையும். மேலும் பாளத்தின் AB என்ற பக்கம் காகிதத்திற்குச் செங்குத்தாக இருப்பதால், O-வில் வரையப்பட்ட நேர்குத்துக்கோடும் காகிதத்தின் தளத்திலேயே அமையும். இதுவே முதல் விதி.

இரண்டாம் விதி : O-வில் படுகோணத்தின் மதிப்பை மாற்றவும், வெவ்வேறு படுகோண மதிப்பிற்கும் சோதனையைத் திருப்பிச் செய்து விலகுகோணம் $r$-ஐக் கணக்கிடவும். $i$, $r$ இவற்றின் மதிப்புகளைக்

கீழ்க்கண்டவாறு அட்டவணைப்படுத்தி $\frac{\sin i}{\sin r}$-ன் மதிப்பைக் காணவும்.

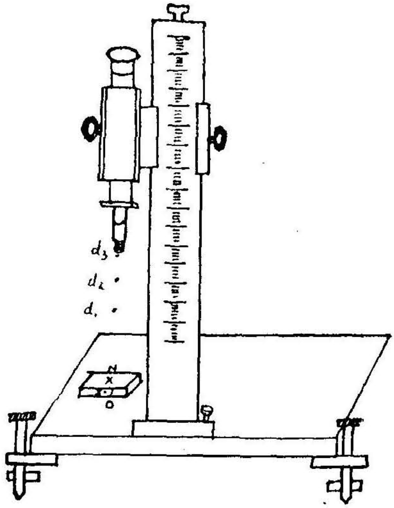
| சோதனை | படுகோணம் ($i$) | விலகுகோணம் ($r$) | $\mu = \frac{\sin i}{\sin r}$ |
|---|---|---|---|
| | | | மாறிலி |

அட்டவணையின் கடைசிப் பத்தியிலுள்ள மதிப்புகள் மாருமல் இருப்பதைக் காணலாம். இதுபோலவே $\frac{\sin i'}{\sin r'}$,-ன் மதிப்பும் மாருமல் இருக்கும். $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin i'}{\sin r'} = \mu$. எனவே $\frac{\sin i}{\sin r}$, $\frac{\sin i'}{\sin r'}$ இவைகளின் சராசரி மதிப்பு கண்ணுடியின் விலகெண்ணைக் கொடுக்கும்.

(ஆ) நேர்குத்து ஒளிவிலகல்மூலம் கண்ணுடியின் விலகெண்ணைக் காணல்: பக்கவாட்டிலும், மற்றும் மேல் கீழாகவும் நகரக்கூடிய நுண்ணேக்கி ஒன்றை எடுத்துக்கொள்வோம். நுண்ணேக்கியின் அச்சு செங்குத்தாக இருக்கவேண்டும். நுண்ணேக்கியின் படுகையின்மேல் ஒரு வெண்ணிறக் காகிதத்தை வைத்து அதில் இடப்பட்ட ஒரு குறியை நுண்ணேக்கியில் தெளிவாகத் தெரியும் வண்ணம் நுண்ணேக்கிக்கும், பொருளுக்கும் இடையே உள்ள தொலைவைச் சரிசெய்துகொள்ளவேண்டும். பொருளின் தெளிவான பிம்பம் குறுக்கிணைக் கம்பிகளுடன் தோற்றப் பிழையின்றிச் சேருமாறு அமைத்தல் வேண்டும். இப்பொழுது குத்துநிலை அளவையிலுள்ள அளவீட்டைக் குறித்துக்கொள்ளவேண்டும் ($d_1$). பிறகு ஒரு செவ்வகப் பாளத்தைக் குறியிடப்பட்ட காகிதத்தின்மேல் வைத்துக் கொள்ளவும். இப்பொழுது பொருள் சற்றே அருகில் இருப்பது போலத் தோன்றும். நுண்ணேக்கியை மேற்புறம் நகர்த்திக் குறியின் பிம்பம், எங்கு தெளிவாகத் தெரிகிறதோ, அங்குள்ள அளவைக் ($d_2$) குறித்துக்கொள்ளவும். பிறகு பாளத்தின்மேல் மிக நுண்ணிய மரத்தூள் போன்றவற்றைத் தூவி, அது தெளிவாகத் தெரியும்படி நுண்ணேக்கியை மேற்புறம் நகர்த்தி ($d_3$) அளவைக் குறித்துக் கொள்ளவும்.

N-ல் இருந்து பொருளின் உண்மையான தொலைவு,

$ON=(d_3-d_1)$ ஆகும்.




படம் 3·11

N-ல் இருந்து பொருளின் தோற்றத் தொலைவு,

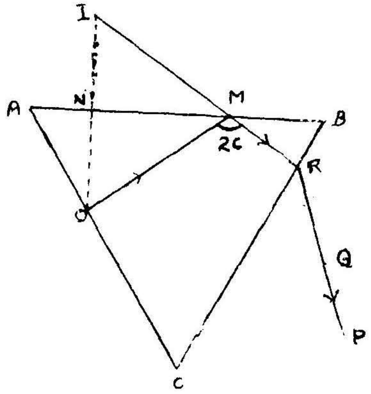
$IN=(d_3-d_2)$ ஆகும்.

எனவே, $\mu=\dfrac{ON}{IN}=\dfrac{d_3-d_1}{d_3-d_2}$

இதே முறையைப் பின்பற்றி ஒரு திரவத்தின் விலகெண்ணையும் காணலாம்.

(இ) மாறுநிலைக் கோண முறையில் ஓர் ஊடகத்தின் விலகெண்ணைக் காணல்- முப்பட்டகம்: ஒரு வரை பலகையில் பொருத்தப் பட்ட காகிதத்தின்மீது ஒரு முப்பட்டகத்தை வைத்து, அதன் எல்லை (ABC)-யை வரைந்து கொள்ளவும் (படம் 3·12). AC-யில் O என்ற குண்டூசியைச் செங்குத்தாகப் பொருத்தவும். அதிலிருந்து புறப்படும் கதிர்கள் AB என்ற எதிரொளிப்புத் தளத்தில் உள்ள எல்லாப் புள்ளி களிலிருந்தும் எதிரொளிக்கப்படுகின்றன. O-வின் பிம்பத்தை BC வழியாகப் பார்க்கவும். B-யிலிருந்து கண்களை C-யை நோக்கி நகர்த்தினால், ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையில் O-வின் பிம்பம் திடீரென மங்கத் தொடங்கும். O-வின் பிம்பம் மறையும் இடத்தில் PQ என்ற இரு குண்டூசிகளைப் பிம்பத்துடன் நேர்கோட்டிலிருக்குமாறு குத்தவும். குண்டூசிகளையும் முப்பட்டகத்தையும் அப்புறப்படுத்திய பின் PQ-வை நீட்டினால், BC-யை அது R-ல் தொடுகிறது. ONI-ஐ

அளந்து ON = NI இருக்குமாறு ONI என்ற நேர்கோடு வரையவும். இப்பொழுது AB-யினால் எதிரொளிக்கப்பட்ட O-வின் பிம்பமாக I அமையும். I-யையும் R-யும் சேர். IR, AB-யை M-ல் தொடுகிறது. OM-ஐச் சேர்க்கவும். O-விலிருந்து M என்ற படுகைப் புள்ளியை வந்தடையும் படுகதிர் MR வழியாக எதிரொளிக்கப்பட்டு BC என்ற பிரிதளத்தில் திசைமாறி PQ வழியே செல்கிறது. PQ-விற்கு இடப்புறமாக O-வின் பிம்பம் தெரியவில்லை. ஆதலால் M என்ற படுகைப்புள்ளியில் OM என்னும் கதிர் மாறுநிலைக் கோணத்தில் அமைகிறது. ஆதலால் $\widehat{OMP}$-யின் மதிப்பு 2C ஆகும். $\widehat{OMP}$ அளந்து C-யின் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். பிறகு $\mu = \frac{1}{\sin c}$ என்ற சமன்பாட்டின்படி கண்ணாடியின் விலகெண்ணைக் காணலாம்.

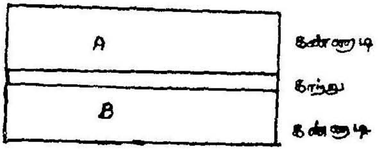



படம் 3·12

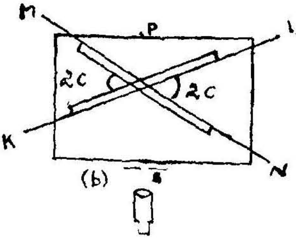
(ஈ) ஒரு காற்றுச் சிமிழ் (Air Cell) ஒரு திரவத்தின் விலகெண்ணைக் காணல் :

AB என்ற இரு கண்ணாடித் தட்டுகளின் உட்பக்க ஓரங்களில் மெல்லிய தகரத் தகடுகளை வைத்துத் திரவம் உட்புகாதவாறு, நன்கு இணைக்கப்பட்டுள்ள இரு கண்ணாடிகளுக்கும் இடைப்பட்ட இடத்தில் காற்று அடைபட்டுள்ளது. படம் (3·13 *a*). இந்தக் காற்றுச் சிமிழ் நிலைக்குத்தாக நிற்கும்படி ஒரு மரத்தாங்கியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இந்த அமைப்பை, விலகெண்ணைக் காணவேண்டிய திரவமுடைய கண்ணாடித் தொட்டியில் வைக்கவேண்டும். மேலுள்ள தாங்கியைச் சுழற்றினால், காற்று அறையும் சுழலும். படம் 3·13 *b* ல் உள்ளதுபோல் P என்ற குண்டூசியை நிலைக்

குத்தாக நிறுத்தவும். அதற்கு மறுபுறம் கண்ணாடித் தொட்டியின் முன்பு சிறு பிளவு (slit) ஒன்று (S) வைக்கப்பட்டுள்ளது. அந்த அமைப்பிற்கு முன் ஒரு தொலைநோக்கியை வைத்துக்கொள்ளலாம். தொலைநோக்கியின் உதவியால் குண்டூசியின் பிம்பத்தைப் பார்த்துக் கொண்டே காற்றுச்சிமிழைச் சுழற்றவும். 1 ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு சுழற்சிக்குபின் குண்டூசியின் பிம்பம் ஒளி குன்றி மங்கும். இப்பொழுது, காற்றுச்சிமிழ் அமைந்துள்ள நிலையைக் குறியிட்டுக் கொள்ளவும். பிறகு முன்பு சுழற்றப்பட்ட திசைக்கு எதிர் திசைக்கு எதிர் திசையில் திருப்பி, மீண்டும் பிம்பம் மறையும்பொழுது காற்றுச் சிமிழ் அமையும் இடத்தைக் குறியிட்டுக் கொள்ளவும். படம்(3·13(b) யில் KL, MN என்ற இரு கோடுகளும் இந்த இரு இடங்களின் அமைப்பைக் குறிக்கின்றது.




(a)




(b)

படம் 3·13 (a)

படம் 3·13 b)

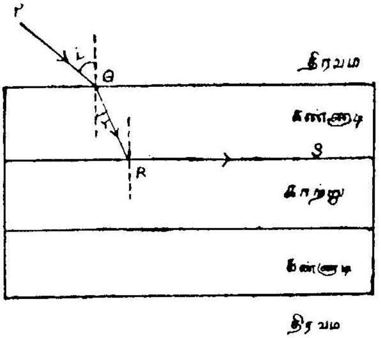
ஒளிக்கதிர் மறையும்பொழுது, PQ என்னும் படுகதிர் A என்ற கண்ணாடித்தளத்திற்கு இணையாக RS என்ற பாதையில் செல்கிறது. படம் 3·14-ல் QR கண்ணாடியில் விலகுகதிர். எனவே, கண்ணாடியில், விலகுகோணம் $r$. RS கண்ணாடிக்கு இணையாகச் செல்வதால், இதுவே கண்ணாடியின், மாறுநிலைக் கோணமாகவும் அமையும்.

எனவே,

$$_{கா}\mu_{க} = \frac{1}{\sin r}$$

மற்றும்

$$திμக = \frac{\sin i}{\sin r}$$




படம் 3·14

$$திμக = \frac{காμக}{காμதி} \text{ ஆதலால்}$$

$$\frac{காμக}{காμதி} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

$$\therefore \frac{காμதி}{காμக} \cdot \frac{\sin i}{\sin r} = 1$$

$$காμக . \sin r = 1 \quad \text{ஆதலால்}$$

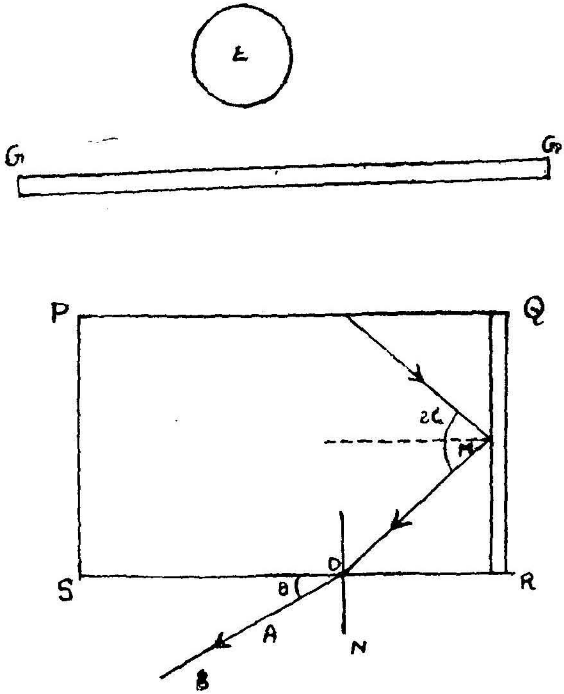
$$காμதி . \sin i = 1$$

$$\therefore காμதி = \frac{1}{\sin i} \qquad .........3·8$$

எனவே, காற்றுச் சிமிழ் எந்த அளவு திரும்புகிறதோ அதுவே திரவத்தின் மாறுநிலைக்கோணமாக அமையும். படம் 3·13 (*b*)-யில் $\widehat{LON} = 2c = 2i$. இதிலிருந்து காμதி-யைக் கண்டு கொள்ளலாம். மேலும் $i$-யின் மதிப்பு காற்றுச் சிமிழ் அமைக்க உதவும் கண்ணாடியின் விலகெண்ணைப் பொறுத்ததன்று என்பதையும் அறியலாம். ஆகவே, கண்ணாடிக்குப் பதிலாக எந்த ஓர் ஒளிபுகும் பொருளையும் காற்றுச் சிமிழ் அமைக்கப் பயன்படுத்தலாம்.

(2) உள்ளஸ்டன் முறைப்படி ஒரு திரவத்தின் விலகல் எண்ணைக் காணல் (Wollaston's method): வரைபலகையில் பொருத்தப் பட்டுள்ள காகிதத்தின்மேல் XY என்ற நேர்கோடு வரையவும்.

அதன்மீது RS என்ற பக்கம் படியுமாறு PQRS என்ற ஒரு கன சதுரக். கண்ணாடிப் பாளத்தை வைக்கவும். QR என்ற நிலைக்குத் தான பக்கத்தில், கொடுக்கப்பட்ட திரவத்தை ஒரு திரவப்படலமாக




படம் 3.15

அமைத்துக் கொள்ளவும். அதற்குப் பின்புறம் ஒரு கறுப்புக் காகிதத்தை வைக்கவும். சோடிய விளக்கு ஒன்றை இந்தக் கன சதுரத்திற்கு பின்புறம் பொருத்தி, அதன் ஒளி GG என்ற கண்ணாடி வழியாக வருமாறு அமைத்துக் கொள்ளவும். பக்கம் RS-இன் முன் புறம் கண்களை இடப் புறத்திலிருந்து வலப்புறமாக ஓட்டினால், ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில், ஒளியின் பொலிவு திடீரெனக் குன்றி விடுகிறது. அந்த இடத்தில் ஒரு நேர் கோடு வரைந்தால் அதை முழு அக எதிரொளிப்புப் பிரிகோடு (line of demarcation) எனலாம். AB என்பது அந்தப் பிரிகோடாக இருக்கட்டும். OAB என்னும் கதிர், M என்ற படுகைப்புள்ளியில் மாறுநிலைக் கோணத்தில் எதிரொளிக்கப்பட்ட MO என்ற கதிரின் விலகு கதிராகும்.

படுகைப்புள்ளி M ல் ஒளிவிலகல் விதிப்படி,

$$\mu_{\text{கா}}.\ \sin c = \mu_{\text{தி}}.\ \sin 90$$

படுகைப்புள்ளி O-ல் ஒளிவிலகல் விதிப்படி,

$$\mu_{\text{கண்}} = \frac{\sin\theta}{\sin(90 - c)} = \frac{\sin\theta}{\cos c}$$

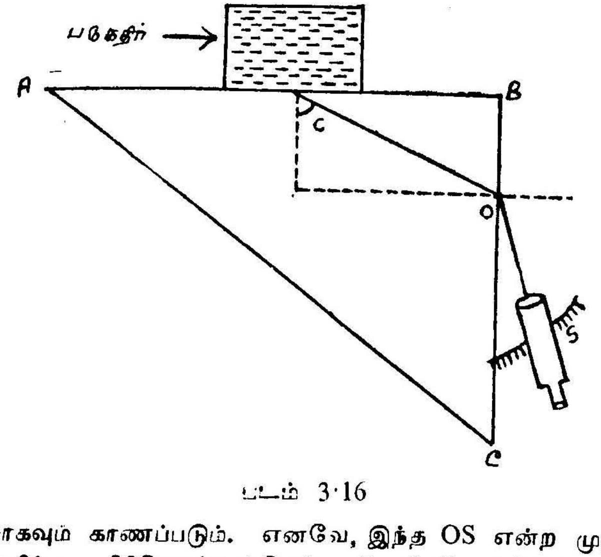
$$\therefore \quad \mu_{\text{தி}} = \mu_{\text{க}}\sin c \quad \text{மற்றும்} \ \sin\theta = \mu_{\text{க}}\cos c$$

$$\mu^2_{\text{தி}} + \sin^2\theta = \mu^2_{\text{க}}[\sin^2 c + \cos^2 c]$$

$$\therefore \quad \mu_{\text{தி}} = \sqrt{\mu^2_{\text{க}} - \sin^2\theta} \qquad \ldots\ldots 3{\cdot}9$$

ஒரு கோணமானியின் உதவியால் $\theta$-வை அளவிட்டு $\mu_{\text{தி}}$ வைக் கணக்கிடலாம்.

(ஊ) புல்ஃபிரிச் முறை (Pulfrich method) இந்த முறையில் ABC என்ற முப்பட்டகம் படம் 3·16-ல்காட்டியவாறு வைக்கப்பட்டு AB என்ற சமதளத்தின்மேல் சிறிதளவு திரவப்படலம் பரப்பப் படுகின்றது. ஒரு சோடிய விளக்கிலிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றை AB-யின் மேல்பட்டு, பிறகு முப்பட்டகத்தில் ஊடுருவி அதன்முன் பொருத்தப்பட்ட ஒரு தொலைநோக்கியினுள் விழுகிறது. ABக்கு இணையாக வரும் ஒளிக்கற்றைகள், குத்துக் கோட்டிலிருந்து C அளவு விலகி BC-யை அடைந்தால் அது BC-யிலிருந்து வரையப் படும் குத்துக்கோட்டினின்று $\theta_1$ அளவு விலகி விடுபடுகின்றது. ஒளிக்கற்றைகளின் படுகோணம் 90°க்கும் குறைவாக இருந்தால், விடுகதிர்களும், முன்பிருந்த நிலைக்குக் கீழேதான் தெரிய முடியும். ஆகையால் OS-க்கு மேற்புறம் ஒளி குன்றியும் OS-க்குக் கீழே ஒளி



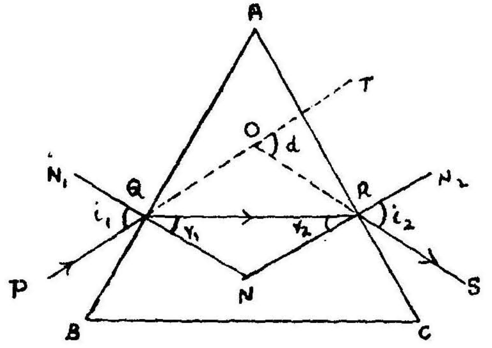

படம் 3·16

அதிகமாகவும் காணப்படும். எனவே, இந்த OS என்ற முழு அக எதிரொளிப்பு பிரிகோட்டின்மேல் தொலைநோக்கியின் அச்சு பொருந்தும்படி வைத்தல் வேண்டும். முன்பு பார்த்ததுபோலவே,

$$\mu_{தி} = \sqrt{\mu^2_{க} - \sin^2\theta}$$

இதில் $\theta$ என்பது BC-யின் நேர்குத்துக் கோட்டிலிருந்து பிரிகோட்டிற்கான கோண அளவாகும். தொலைநோக்கி நகரும் படுகையில் உள்ள அளவை, கோணமாகப் பிரிக்கப்படாமல் வெவ்வேறு $\theta$-விற்கான $\sqrt{\mu_{க}^2 - \sin^2\theta}$ -வைக் குறியீடு எண்களாக அமைத்தால், தொலைநோக்கியின் அச்சு, பிரிகோட்டில் அமையும் இடத்திலுள்ள அளவீடு திரவத்தின் விலகெண்ணைக் குறிக்கும்.

3·13. முப்பட்டகத்தின் வழியே நிகழும் ஒளி விலகல் : ஒளியியலில் பொதுவாகப் பயன்படுத்தப்படும் முப்பட்டகம் என்பது, ஒன்றுக்கொன்று சாய்ந்துள்ள மூன்று சமதளப் பரப்புகளால் சூழப்பட்ட ஒளிபுகு ஊடகமாகும். அப் பரப்புகளுள், இரண்டு ஒளி விலகு பரப்புகள் (refracting surfaces) என்றும், அவைகளுக்கு இடைப்பட்ட கோணம், ஒளிவிலக்கக் கோணம் (refracting angle) என்றும் கூறப்படும். மூன்ருவது பக்கம், முப்பட்டகத்தின் அடித்தளம் (base) எனப்படும். இம் மூன்று சமதளங்களுக்கும் செங்குத்தான குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பு ஒரு முக்கோணமாக அமையும் (படம் 3·17).




படம் 3·17

படம் 3·17ல் ABC என்பது ஒரு முப்பட்டகத்தின் குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பைக் குறிக்கின்றது. AB, CA என்ற இரு ஒளிவிலகு தளப் பரப்பிற்கு இடைப்பட்ட கோணம் ( $\hat{A}$ ) ஒளிவிலக்கு கோணமாகும். AB என்ற பரப்பில் Q என்ற புள்ளியில் PQ என்ற கதிர் விழுவதாகக் கொள்வோம். இது கண்ணாடிக்குள் செல்லும்பொழுது, N, $QN_1$ என்ற நேர்குத்துக்கோட்டை நோக்கி, விலகிச் செல்கின்றது. QR என்பது விலகு கதிராகும்; பின்பு, முப்பட்டகத்திலிருந்து வெளியேறும்பொழுது AC-க்கு R-ல் வரையப்பட்ட $NRN_2$

என்ற குத்துக்கோட்டினின்றும் விலகி, RS என்ற திசையில் செல்கின்றது.

Q-வில் படுகோணம், விலகுகோணம் ஆகியவற்றை முறையே $i_1$, $r_1$ எனவும், R-ல் அவற்றை முறையே $i_2$, $r_2$ எனவும் குறிப்பிடவும், படுகதிருக்கும், விடுகதிருக்கும் இடைப்பட்ட கோணம் (angle of deviation) எனப்படும். படம் 3·17ல்

AQNR என்ற நாற்கரத்தில்

$$\widehat{AQN} + \widehat{ARN} = 90^\circ + 90^\circ = 180^\circ$$

$$\widehat{A} + \widehat{QNR} = 180^\circ$$

QNR என்ற முக்கோணத்தில்

$$\widehat{r_1} + \widehat{r_2} + \widehat{QNR} = 180^\circ$$

இந்த இரு சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$\widehat{r_1} + \widehat{r_2} = \widehat{A} \quad \ldots\ldots\ldots 3\cdot10$$

எனவாகிறது.

$$\widehat{OQR} = i_1 - r_1$$

$$\widehat{ORQ} = i_2 - r_2$$

$$\widehat{TOR} = \widehat{OQR} + \widehat{ORQ}$$

$$\therefore \quad d = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2)$$

$$d = (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2)$$

$$d = (i_1 + i_2) - A \quad \ldots\ldots\ldots 3\cdot11$$

**3·14. சிறும திசைமாற்றக் கோணம் (Angle of minimum deviation) :** படுகோணத்தைச் சிறிது சிறிதாக அதிகப்படுத்தினால், திசைமாற்றக் கோணம் முதலில் குறையத்தொடங்கி ஒரு சிறும அளவை அடைந்த பிறகு, அதிகரிக்கத் தொடங்குகிறது. திசைமாற்றக்கோணத்தின் சிறும அளவு, சிறும திசைமாற்றக் கோணம் (D) எனப்படும். ஒரு குறிப்பிட்ட முப்பட்டகத்திற்கு D-யின் மதிப்பு மாறாததாகும்.

சிறும திசைமாற்ற நிலையில் செல்லக்கூடிய ஒரு படுகதிரை எடுத்துக்கொள்வோம்.

ஒளிவிலகல் விதிப்படி,

$$\sin i_1 = \mu \sin r_1 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}12$$

$$\sin i_2 = \mu \sin r_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}13$$

இவ் விரு சமன்பாடுகளையும் பகுத்தால் (differentiating)

$$\cos i_1 \, di_1 = \mu \cos r_1 \, dr_1 \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}14$$

$$\cos i_2 \, di_2 = \mu \cos r_2 \, dr_2 \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}15$$

சமன்பாடு (3·14) ஐ சமன்பாடு (3-15) ஆல் வகுத்தால்,

$$\frac{\cos i_1 \, di_1}{\cos i_2 \, di_2} = \frac{\cos r_1 \, dr_1}{\cos r_2 \, dr_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 8{\cdot}16$$

சமன்பாடு 3·10ஐயும் சமன்பாடு 3·11ஐயும் பகுத்தால்

$$dr_1 + dr_2 = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}17$$

$$di_1 + di_2 = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}18$$

எனவே,

$$dr_1 = -dr_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}19$$

$$di_1 = -di_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}20$$

சமன்பாடு 3·19, 3·20 இவற்றிலிருந்து $di_1$, $dr_1$ இவைகளின் மதிப்பை, (3-16) ல் பொருத்தினால்,

$$\frac{\cos i_1}{\cos i_2} = \frac{\cos r_1}{\cos r_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}21$$

அல்லது

$$\frac{\cos^2 i_1}{\cos^2 i_2} = \frac{\cos^2 r_1}{\cos^2 r_2}$$

எனவே,

$$\frac{1 - \sin^2 i_1}{1 - \sin^2 i_2} = \frac{1 - \sin^2 r_1}{1 - \sin^2 r_2}$$

$$\frac{1-\mu^2 \sin^2 r_1}{1-\mu^2 \sin^2 r_2} = \frac{1-\sin^2 r_1}{1-\sin^2 r_2}$$

குறுக்காகப் பெருக்கிச் சுருக்கினால்,

$$\sin^2 r_1 (1-\mu^2) = \sin^2 r_2 \, (1-\mu^2)$$

எனவே, $\sin^2 r_1 = \sin^2 r_2$

$\therefore \quad r_1 = \pm r_2$

$r_1 + r_2 = A$ என்றிருப்பதால், $r_1 \neq -r_2$

எனவே, $r_1 = r_2$ ... ... ... 3·22

ஆகவே, சிறும திசைமாற்ற நிலையில் பட்டகத்தினுள் செல்லும் விலகுகதிர் AB, AC ஆகிய இரு பரப்புக்களும், சம அளவில் சாய்ந்திருக்கும். எனவே,

$$i_1 = i_2 = i \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}23$$

மேலும், $r_1 = r_2 = r = \frac{A}{2}$ ... ... ... 3·24

$$i_1 + i_2 - A = d$$

சிறும திசைமாற்ற நிலையில், $2i - A = d$

எனவே, $i = \frac{A+D}{2}$ ... ... ... 3·25

$$\therefore \quad \mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{A+D}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}26$$

3·15. சிறிய விலக்கு கோணமுடைய முப்பட்டகம் (Small angle prism) : முப்பட்டகத்தின் ஒளிவிலக்குக் கோணம் சிறியதாகவும், படுகதிர் ஏறக்குறைய 0 நேர்குத்துக்கோட்டை ஒட்டி, முப்பட்டகத்தினுள் சென்றால் விலகு கோணமும், மிகச் சிறியதாக அமையும். எனவே,

தோராயமாக, $\mu = \frac{i}{r}$ எனலாம்.

$$\mu = \frac{\frac{A+D}{2}}{\frac{A}{2}}$$

$$= \frac{A+D}{A}$$

$$\therefore \quad D = A(\mu - 1) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}27$$

இதிலிருந்து சிறிய அளவுள்ள படுகோணமுடைய கதிர்களின் திசைமாற்றமும் மாருமல் இருக்கும் என்பது தெளிவு. $\hat{A}$ சுழியாக அமைந்தால், திசைமாற்றமும் சுழியாகும் எனவாகிறது. இது முற்றிலும் உண்மை. ஏனெனில், $\hat{A}$ சுழியானுல் அது ஒரு முப்பட்டகமாக அமையாமல், ஒரு பாளமாகத்தான் அமையும். பாளத்தின்வழியே செல்லும் கதிருக்கு, இடப்பெயர்ச்சியைத் தவிரத் திசைமாற்றம் கிடையாது என்பதை முன்பே பார்த்தோம்.

3·16 நேர்குத்துப் படுகதிர் : PQ என்ற நேர்குத்துக் கதிர் (படம் 3·18)AB என்ற பரப்பில் விழுந்து முப்பட்டகத்தில் ஊடுருவித் திசை மாருமல் AC என்ற பரப்பை R-ல் தொடுகிறது. AC என்ற பிரிதளத்தில் இக் கதிர் குத்துக்கோட்டினின்று விலகி RS என்ற திசையில் செல்வதாகக் கொள்வோம். MRN என்ற குத்துக்கோடு R-ல் வரையப்பட்டால்,

$\hat{MRQ} = 0 - \hat{QRA} = \hat{A}$ மேலும் R என்ற படுகைப்புள்ளியில்

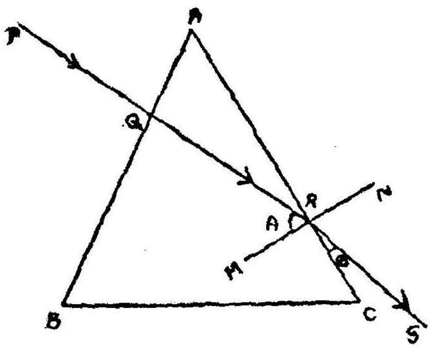
$$\frac{\sin\theta}{\sin \hat{MRQ}} = \mu$$

$$\therefore \quad \mu \sin A = \sin\theta$$

விடுகதிரின் பெரும அளவு 90° ஆதலால், விடுகதிர் தவழ் நிலையில் வெளிவரும்பொழுது,

$$\mu \sin A = 1$$

$$\therefore \quad \mu = \frac{1}{\sin A} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}28$$



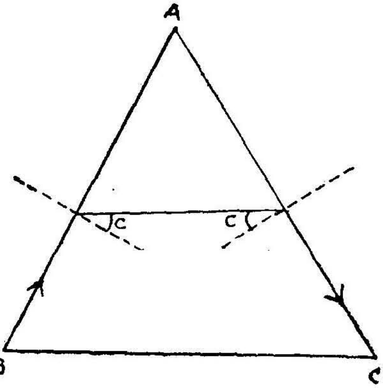

படம் 3·18

எனவே, ஒரு நேர்குத்துக் கதிர் முப்பட்டகத்தினுள் ஒரு பரப்பில் ஊடுருவி மற்றொரு பரப்பிலிருந்து வெளிவர வேண்டுமாயின், அந்த முப்பட்டகத்தின் விலக்குக் கோணம், அந்த முப்பட்டகக் கண்ணுடியின் மாறுநிலைக் கோணத்தைவிட அதிகமாக இருத்தல் கூடாது.

3·17 தவழ்நிலை படுகதிர் (Grazing incidence): படுகதிர், விலகு தளப் பரப்பிற்குச் சற்றேறக்குறைய இணையாக, படுகோணம் 90° இருக்குமாறு, ஒரு முப்பட்டகத்தினுள் ஊடுருவுவதாக வைத்துக் கொள்வோம். இந்தக் கதிரைத் தவழ்நிலை படுகதிர் என்கிறோம். சமன்பாடு 3·10-ன்படி $r_1+r_2=A$ ஆதலால்,

A பெரும $= r_1$ பெரும $+ r_2$ பெரும

$r_1$-ன் பெரும அளவு $i_1=90°$ ஆக இருக்கும்பொழுது அமைவதாகும். இது போலவே $r_2$வின் பெரும அளவு $i_2=90°$ இருக்கும் பொழுது அமையும். $i_1$ ம், $i_2$-வும் 90° ஆக அமையும்பொழுது, $r_1$-ம், $r_2$-ம், முப்பட்டகக் கண்ணாடியின் மாறுநிலைக்கோணமாக அமையும் (படம் 3·19).

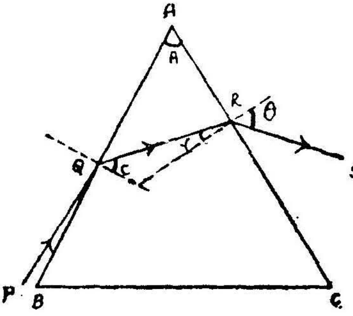


படம் 3·19

ஆகையால், A பெரும $=$ C$+$C 2C

எனவே, ஒரு படுகதிர் ஒரு முப்பட்டகத்தில் ஊடுவி, இரண்டாவது பரப்பிலிருந்து வெளிவர வேண்டுமாயின், அந்த முப்பட்டகத்தின் ஒளிவிலக்குக் கோணம் 2C-க்குமேல் இருத்தல் கூடாது. மேலும் தவழ்நிலை படுகதிர் ஒன்று ஒரு முப்பட்டகத்தில் ஊடுருவி இரண்டாவது பரப்பிலிருந்து தவழ்நிலையில் வெளிவர வேண்டுமாயின், அந்த முப்பட்டகத்தின் ஒளிவிலக்குக் கோணம் 2C அளவு இருத்தல்வேண்டும்.

3.18. தவழ்நிலைப் படுகதிரைப் பயன்படுத்தி ஒரு முப்பட்டகக் கண்ணாடியின் விலகெண்ணைக் காணல்: ஒரு முப்பட்டகத்தின் ஒரு விலகுதளப் பரப்பின்மீது தவழ்நிலையில் ஒரு படுகதிர் விழுவதாகக் கொள்வோம். அதற்கான விடுகதிர் RS-ஆக இருக்கட்டும். RS-க்கு மேற்புறம் ஒளிகுன்றியும், RS-க்குக் கீழ்ப்புறம் ஒளிமிகுந்தும் இருக்கும். RS, இந்த இரு பாகங்களின் பிரிகோடாக அமையும். R என்ற படுகைப்புள்ளியில், இந்த விடுகதிருக்கான விலகுகோணம் $r$ என இருக்கட்டும்.



படம் 3•20

$$\frac{\sin\ \theta}{\sin\ r} = \mu$$

Q என்னும் படுகைப்புள்ளியில் QR என்ற விலகு கதிரின் விலகு கோணம், மாறுநிலைக் கோணம் ஆகையால்,

$$r + C = A$$

இந்த இரு சமன்பாட்டையும் இணைத்தால்,

$$\begin{aligned} \sin\theta &= \mu\ \sin r \\ &= \mu\ \sin (A - C) \\ &= \mu\ (\sin A \cos C - \cos A \sin C) \\ &= \mu\ \sin\ A\ \sqrt{1 - \sin^2 C} - \mu \cos A \sin C \\ &= \sin A \sqrt{\mu^2 - \mu^2\ \sin^2 C} - \mu \cos A\ \sin\ C \end{aligned}$$

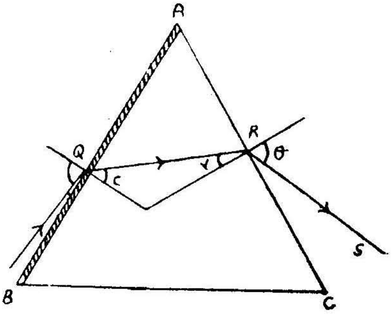
மேலும் $\mu = \dfrac{1}{\sin C}$ ஆதலால், $\mu\ \sin C = 1$

$$\therefore\ \sin\ \theta = \sin A \sqrt{\mu^2 - 1}\ - \cos A$$

$$\therefore\ \mu^2 = 1 + \left(\frac{\sin\ \theta + \cos\ A}{\sin\ A}\right)^2 \qquad \text{.........3·29}$$

எனவே, $\hat{A}$ விலக்கு கோணம் உள்ள முப்பட்டகத்தின் $\theta$ என்ற விடுகோணத்தைக் கண்டு கொண்டால் $\mu$-வைக் கணக்கிட்டுக்கொள்ளலாம்.

இந்த முறையைப் பயன் படுத்தி ஒரு திரவத்தின் விலகல் எண்ணைக் காணமுடியும். கொடுக்கப்பட்ட திரவத்தை AB என்ற தளத்தின்மேல் பரப்பவும் (படம் 3·21).




படம் 3·21

முப்பட்டகக் கண்ணாடியின் விலகெண் $\mu_{க}$ எனின்,

திரவத்தின் விலகெண் $\mu_{தி}$ என்றால்,

$$\frac{\mu_{க}}{\mu_{தி}} = {}_{தி}\mu_{க} = \frac{1}{\sin C}$$

$$\therefore \quad \mu_{தி} = \mu_{க} \sin C$$
$$= \mu_{க} \sin (A - r) \quad (\because \quad A = C + r)$$
$$\mu_{தி} = \mu_{க} (\sin A \cos r - \cos A \sin r)$$
$$= \mu_{க} (\sin A \sqrt{1 - \sin^2 r} - \cos A \sin r)$$
$$= \sin A \sqrt{\mu^2 - \sin^2 \theta} - \cos A \sin \theta \quad \ldots \quad 3{\cdot}30$$

எனவே, கண்ணாடி முப்பட்டகத்தின் ஒளிவிலக்குக் கோணம், அதன் விலகெண், மற்றும் விடுகோணம் இவை தெரிந்திருந்தால் திரவத்தின் விலக்கெண்ணைக் காணலாம்.

## கோளப்பரப்பில் ஒளிவிலகல்

3·19. சமதளப் பரப்பின் ஒளிவிலகல் விதிகள், கோளப் பரப்பிற்கும் பொருந்தும். எனவே, ஓர் ஊடகத்திலிருந்து மற்றோர் ஊடகத்திற்குச் செல்லும் கதிர், கோள வடிவமுள்ள பரப்பில்பட்டு ஊடுருவும்பொழுது அந்தப் பரப்பின் குவி தன்மை அல்லது குழி தன்மைக்கு ஏற்ப மெய் பிம்பம் அல்லது மாய பிம்பம் தோன்றும்.

3·20. குறியீடு முறை விளக்கம் : இங்குக் கையாளப்படும் குறியீட்டு முறை கோள ஆடிகளில் எதிரொளிப்புக்கான ஒளி குறியீட்டு முறையை ஒத்திருக்கும். கோளப் பரப்பில் ஒளி விலகல் நிகழும் பொழுது பின்கண்ட முறையை ஒரு பொதுவான நியதியாகக் கொள்கிறோம்.

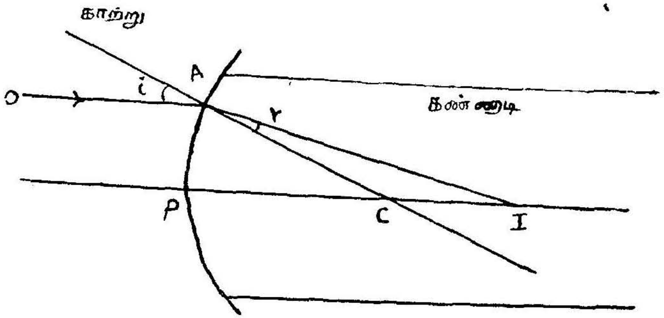
1. பொருள் தூரம், பிம்பம் அமையும் தூரம், மற்றும் வளைவு ஆரம் போன்ற தொலைவு அளவுகள் கோளப் பரப்பின் மையத்திலிருந்து அளக்கப்படுகின்றன.

2. பொருள், மெய்பிம்பம் இவை அமையும் தொலைவுகள் நேர்குறியிட்டும் மாயபிம்பம் இவைகள் அமையும் தொலைவுகள் எதிர்க்குறியிட்டும் அளக்கப்படுகின்றன.

3. ஓர் ஊடகத்தில் கோளப்பரப்பின் முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகச் செல்லும் ஒரு படுகதிர் கோளப் பரப்பின் ஊடே விலகி, இரண்டாவது ஊடகத்தினுள் செல்லும்பொழுது, அந்த விலகு கதிர் குவியுமானால், அந்தக் கோளப் பரப்பின் வளைவு ஆரம், மற்றும் குவியத் தூரம் இவை நேர்குறி உடையவையாகக் கொள்ளப்படும். ஓர் ஊடகத்தில், கோளப்பரப்பின் முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகச் சென்று, கோளப் பரப்பில் ஒளிவிலகற்கு உட்படும் படுகதிர் ஒளி விலகலுக்குப்பின் விரிந்து சென்றால் அந்தக் கோளப் பரப்பின் வளைவு ஆரம், குவியத்தூரம் இவைகள் எதிர்க்குறி (negative sign) உடையனவாகக் கொள்ளப்படும்.

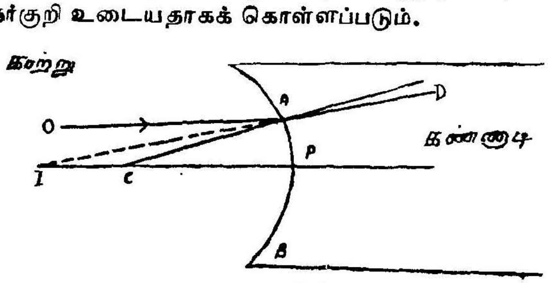
குவியும் தன்மை உடைய கதிர்கள், மெய் பிம்பத்தையும் விரியும் தன்மை உடைய கதிர்கள் மாய பிம்பத்தையும் உருவாக்கும்.

மேற்கண்ட குறியீட்டு முறையைச் சிறிது விளக்கமாகக் காண்போம்.




படம் 3·22

படம் 3·22-ல் OA என்ற படுகதிர் PC என்ற முதன்மை அச்சிற்கு இணையாக A-என்ற படுகைப்புள்ளியில் விழுகின்றது. C என்னும் வளைவு மையத்திலிருந்து படுகைப்புள்ளிக்கு வரையப்படும் நேர்கோடு படுகைப்புள்ளியில் குத்துக்கோடாக அமையும். OA அடர் குறை ஊடகத்திலிருந்து அடர்மிகு ஊடகத்தில் செல்வதாகக் கொள்வோம். கோளப் பரப்பில் ஒளிவிலகல் ஏற்பட்டு, இரண்டாவது ஊடகத்தில், குத்துக்கோட்டை நோக்கி விலகி, AI என்ற பாதையில் செல்கிறது. OA என்ற படுகதிரை, இந்தப் பரப்பு முதன்மை அச்சை நோக்கிக் குவிப்பதால், இந்தப் பரப்பின் வளைவு ஆரம் நேர்குறி உடையதாகக் கொள்ளப்படும்.




படம் 3·23

படம் 3·23-ல் அடர்குறை ஊடகத்திலிருந்து அடர்மிகு ஊடகத்திற்குக் கோளப்பரப்பின் முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகச் செல்லும் OA என்ற படுகதிர் கோளப் பரப்பை A-யில் தொடுகிறது. APB என்ற கோளப் பரப்பின் வளைவு மையம் C ஆனால், CA என்னும்

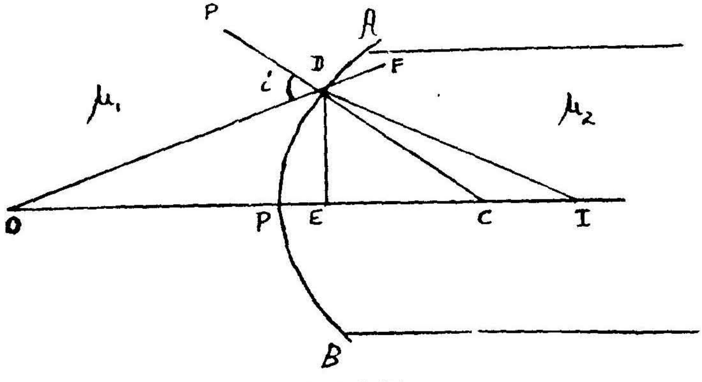
நேர்கோடு A-யில் அமையப்பெற்ற நேர்குத்துக்கோடாகும். A-யில் ஒளிவிலகல் ஏற்பட்டு விலகு கதிர், குத்துக்கோட்டை நோக்கி விலகி AD என்ற பாதையில் விரிந்து செல்கின்றது. DA-யைப் பின்னுக்கு நீட்டினால் அது முதன்மை அச்சை I-யில் தொடுகிறது. AD என்ற கதிர் I யிலிருந்து வருவதுபோல் தோற்றமளிக்கும். ஆகையால் அடர்குறை ஊடகத்திலிருந்து அடர்மிகு ஊடகத்தினுள் ஓர் ஒளிக்கதிர் செல்லும்பொழுது ஒளிக்கதிர் விரிந்து செல்லுமானால், அந்தக் கோளப் பரப்பின் வளைவு ஆரம் எதிர்க்குறியுடையதாகக் கொள்ளப்படும்.

படம் 3·22-ல் R, + எனவும், படம் 3·23-ல், R, — எனவும் குறித்தல் வேண்டும். மேலும், படம் 3·23 கோளபரப்பு அடர்குறை ஊடகத்திற்குக் குவிபரப்பாக அமைவதையும், படம் 3·23-ல் கோளப் பரப்பு அடர்குறை ஊடகத்திற்கு குழி பரப்பாக அமைவதையும் காணலாம்.

எனவே, படுகதிர் அடர்குறை ஊடகத்திலும், விலகு கதிர் அடர்மிகு ஊடகத்திலும் அமையும்பொழுது, (a) அடர்குறை ஊடகத்திற்குக் குவிபரப்பாகவும் அடர்மிகு ஊடகத்திற்குக் குழிபரப்பாகவும் அமையும் கோளப் பரப்பின் வளைவு ஆரம் நேர்குறி உடையதாகவும், (b) அடர்குறை ஊடகத்திற்குக் குழி பரப்பாகவும், அடர்மிகு ஊடகத்திற்குக் குவிபரப்பாகவும் அமையும் கோளப் பரப்பு எதிர்க்குறி உடையதாகவும் கொள்ளப்படும்.

3·21 கோளப் பரப்பில் ஒளி விலகல் நிகழும்பொழுது பொருளின் தொலைவிற்கும், பிம்பத்தின் தொலைவிற்கும் உள்ள சமன்பாடு:

APB என்பது ஒளிவிலகல் நிகழும் ஒரு கோளப்பரப்பு. கோளப் பரப்பின் மையம் P யாகவும், கோளப்பரப்பின் வளைவு மையம்




படம் 3·24

C யாகவும், இருக்கட்டும். PC-யைச் சேர்க்கும் நேர்கோடு, முதன்மை அச்சு. O என்ற புள்ளிப் பொருள், P-யிலிருந்து $u$ தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. D என்ற படுகைப்புள்ளியில் OD என்ற படுகைக் கதிர் படுகோணம் $i$ இருக்கும்படி விழுகிறது என்று கொள்வோம். DC என்னும் நேர்கோடு D-யில் ஒளிவிலகு பரப்பிற்கு வரையப்பட்ட குத்துக்கோடு ஆகும் (படம் 3·24).

OD என்னும் படுகதிர் $\mu_1$ விலகெண் உடைய அடர்குறை ஊடகத்தில் அமைந்தால், கோளப் பரப்பில், ஒளி விலகல் நிகழும். இரண்டாவது ஊடகம், $\mu_2$ விலகெண் உடைய அடர்மிகு ஊடகமாக அமையட்டும்.

$\mu_1 \sin i = \mu_2 \sin r$ என்ற விதிப்படி படுகதிர் விலகிச் செல்லும்.

கோளப்பரப்பு அடர்குறை ஊடகத்திற்குக் குவிந்த பரப்பாக அமைந்தால் விலகு கதிர் குவிந்து முதன்மை அச்சில் I-யில் தொடுகிறது (படம் 3·24).

அடர்குறை ஊடகத்திற்குக் குழிந்த பரப்பாகக் கோள விலகு பரப்பு அமைந்தால் விலகு கதிர் விரிந்து செல்கிறது. (படம் 3·25). படம் 3·24-ன்படி ODC என்ற முக்கோணத்தில்,

$$\widehat{DOP} + \widehat{DCP} = i$$

DCI என்ற முக்கோணத்தில்,

$$\widehat{DCP} = r + \widehat{IPD}$$

$$r = \widehat{DCP} - \widehat{DIP} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}31$$

$$i = \widehat{DCP} + \widehat{DOP} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}32$$

ஒளிவிலகல் விதிப்படி,

$$\mu_1 \sin i = \mu \quad \sin r$$

$i$-யும், $r$-வும் மிகச் சிறிய அளவாக இருந்தால்,

$$\mu_1 \, i = \mu_2 \, r$$

சமன்பாடு 3·31-ஐ, $\mu_2$ ஆலும், சமன்பாடு 3·32-ஐ $\mu_1$ ஆலும் பெருக்கினல்,

$\mu_1 \, i = \mu_2 \, r$ என்ற சமன்பாட்டின்படி,

$$\mu_2 (\widehat{DCP} - \widehat{DIP}) = \mu_1 (\widehat{DCP} + \widehat{DOP})$$

$$\therefore \quad \widehat{DCP}\,(\mu_2 - \mu_1) = \mu_1\,\widehat{DOP} + \mu_2\,\widehat{DIP} \quad \dots \quad \dots \quad \dots 3{\cdot}33$$

D-யிலிருந்து PCக்கு DE என்ற குத்துக்கோடு வரைவோம்.

$\triangle$ DOE-ல்

$$\frac{DE}{EO} = \tan \widehat{DOP}$$

இதுபோலவே,

$$\frac{DE}{EC} = \tan \widehat{DCP}$$

$$\frac{DE}{EI} = \tan \widehat{DIP}$$

P-யும் E-யும் நெருக்கமாக இருந்தால்,

OP=OE, EC=PC, EI=PI எனக் கொள்ளலாம்.

மேலும் $i$-யும் $r$-வும் சிறியவையாக இருந்தால்,

$\tan \widehat{DIP}$, $\tan \widehat{DCP}$, $\tan \widehat{DOP}$ இவைகள் முறையே,

$\widehat{DIP}$, $\widehat{DCP}$, $\widehat{DOP}$ எனக் கொள்ளலாம். எனவே,

சமன்பாடு (3·33)ஐப் பின் வருமாறு எழுதலாம்.

$$\frac{DE}{PC}\cdot(\mu_2 - \mu_1) = \frac{DE}{OP}\mu_1 + \frac{DE}{IP}\cdot\mu_2$$

IP-யின் தொலைவு $v$ எனக் கொண்டால்,

$$\frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = \frac{\mu_1}{u} + \frac{\mu_2}{v} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (3{\cdot}34)$$

படம் (3·25) ன்படி, ODC என்ற முக்கோணத்தில்

$$\widehat{DCP} = \widehat{O} + \widehat{i}$$

$\triangle$ DIC-யில்

$$\widehat{DCP} = \widehat{DIP} + r$$

$$i = \widehat{DCP} - \widehat{O}$$

$$\mu_1 i = \mu_1 \widehat{DCP} - \mu_1 \widehat{O} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 3{\cdot}35$$

$$r = \widehat{DCP} - \widehat{OIP}$$

$$\mu_2 r = \mu_2 \widehat{DCP} - \mu_2 \widehat{OIP}$$

$\mu_1 i = \mu_2 r$ ஆதலால்,

$$\mu_1 \widehat{DCP} - \mu_1 \widehat{O} = \mu_2 \widehat{DCP} - \mu_2 \widehat{OIP}$$

$$\therefore \quad (\mu_2 - \mu_1) \widehat{DCP} = \mu_2 \widehat{OIP} - \mu_1 \widehat{O}$$

$$(\mu_2 - \mu_1) \frac{DE}{CE} = \mu_2 \frac{DE}{IE} - \mu_1 \frac{DE}{OE}$$

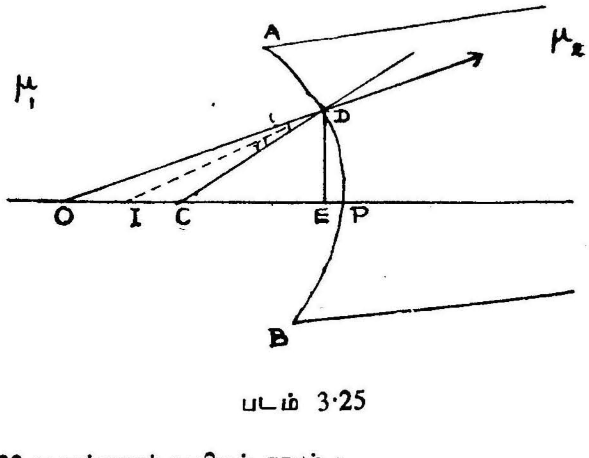
$$\therefore \quad \frac{\mu_2 - \mu_1}{CP} = \frac{\mu_2}{IP} - \frac{\mu_1}{OP}$$

படம் 3·25ன் படி,

$$CP = -R, \quad IP = -v, \quad OP = u$$

$$\therefore \quad \frac{\mu_2 - \mu_1}{-R} = \frac{\mu_2}{-v} - \frac{\mu_1}{u}$$

$$\therefore \quad \frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = \frac{\mu_1}{u} + \frac{\mu_2}{v}$$




படம் 3·25

### 3·22 முதன்மைக் குவியத் தூரம் :

$$\frac{\mu_1}{u} + \frac{\mu_2}{v} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$$

(அ) பிம்பம் முடிவிலாத் (infinite) தொலைவில் இருக்கட்டும்.

$$\therefore \quad v \rightarrow \infty$$

$$\therefore \quad \frac{\mu_1}{u} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$$

$$\therefore \quad u = \frac{R\,\mu_1}{\mu_2 - \mu_1} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad 3{\cdot}37$$

$u$ வின் இந்த மதிப்பு, கோளப்பரப்பின் முதல் முதன்மைக் குவியத் தூரம் எனப்படும். முதன்மை அச்சில் கோளப் பரப்பில் மையத்தி லிருந்து, இந்தத் தொலைவில் அமையும் புள்ளி முதல் முதன்மைக் குவியம் (first principal focus) எனப்படும்.

முதல் முதன்மைக் குவியத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் ஒரு பொருளிலிருந்து புறப்படும் கதிர் அல்லது முதல் முதன்மைக் குவி யத்தில் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகத் தோன்றும் ஒரு பொருளிலிருந்து புறப்படும் ஒரு கதிர் கோளப்பரப்பில் விழுந்து, ஒளி விலகல் நிகழ்ந்தபின் முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகச் செல்கிறது.

(ஆ) $u = \infty$ ஆக இருக்கட்டும்.

$$\frac{\mu_2}{v} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$$

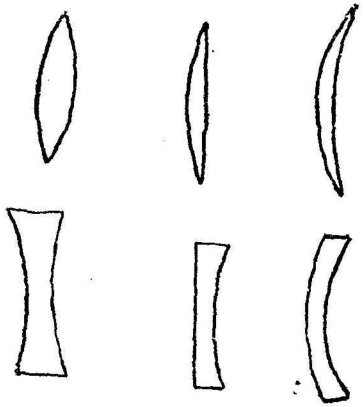
$$v = \frac{R\,\mu_2}{\mu_2 - \mu_1} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad 3{\cdot}38$$

$v$-யின் இந்த மதிப்பு, கோளப் பரப்பின் இரண்டாம் முதன்மைக் குவியம் எனப்படும். முதன்மை அச்சில் கோளப்பரப்பின் இந்தத் தொலைவில் அமையும் புள்ளி, இரண்டாம் முதன்மைக் குவியம் எனப்படும். ஒரு கோள விலகுபரப்பில் முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகச் செல்லும் கதிர், விலகு பரப்பில் விழுந்து ஒளி விலகல் நிகழ்ந்த பிறகு, இரண்டாம் முதன்மைக் குவியத்தின் வழியாகவோ அல்லது இரண்டாம் முதன்மைக் குவியத்திலிருந்து வருவது போலவோ செல்லும்.

3·23 வில்லைகள் (Lens) : வில்லை என்பது இரு கோளப் பரப்பு களால் உள்ளடக்கப்பட்ட ஓர் ஒளிபுகு ஊடகம் ஆகும். இரு கோளப் பரப்புகளின் வளைவு மையத்தின் வழியாகச் செல்லும் நேர் கோடு, வில்லையின் முதன்மை அச்சு எனப்படும். வில்லையின் கனம் மிகக் குறைவாக இருக்குமானால், இரு கோளப் பரப்புகளின் மையங் களும் ஒன்றோடொன்று இணைவதாகக் கொள்ளலாம். வில்லையின் ஒரு பக்கத்தில் அதன்மீது விழும் ஒரு கதிர் படுதிசைக்கு இணை

யான திசையில் வில்லையைவிட்டு வெளியேறுமானால், வில்லைக்குள் அதன் பாதை, முதன்மை அச்சை ஒரு குறிப்பிட்ட பாதையில் வெட்டும். அப் புள்ளி வில்லையின் ஒளி மையம் (optic centre) எனப்படும்.

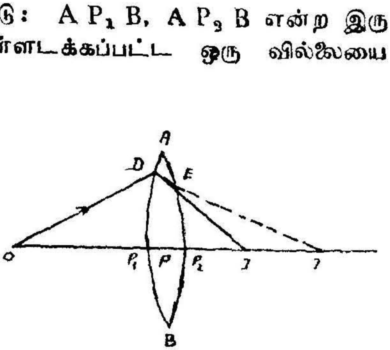
முதன்மை அச்சு அமைந்துள்ள தளத்தின்வழியே அமையும் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு, முதன்மை வெட்டு (principal section) எனப்படும். சிலவகை வில்லைகளின் முதன்மை வெட்டுத் தோற்றத்தைப் படம் 3·26 காட்டுகின்றது.


படம் 3·26

நடுவில் தடித்தும், ஓரங்களில் மெலிந்துமுள்ள வில்லை, குவி வில்லை (convex lens) எனப்படும். ஓரத்தில் தடித்தும், நடுவில் மெலிந்தும் உள்ள வில்லை குழி வில்லை (concave lens) எனப்படும். பொதுவாக முன் சொன்ன வகைகள், ஒளிக்கற்றைகளைக் குவிக்கும் தன்மையை உடையனவாகவும், பின் சொன்ன வகைகள் ஒளிக் கற்றைகளை விரிக்கும் தன்மையை உடையனவாகவும் அமைகின்றன.

3·24. வில்லைக்கான சமன்பாடு: $AP_1B$, $AP_2B$ என்ற இரு கோளப் பரப்புகளினால் உள்ளடக்கப்பட்ட ஒரு வில்லையை எடுத்துக் கொள்வோம்.

(படம் 3·27) O என்ற ஒரு புள்ளிப் பொருள் முதன்மை அச்சில் ஒளி மையத்திலிருந்து $u$ தொலைவில் $\mu_1$ விலகெண் உள்ள ஓர் ஊடகத்தில் இருப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். முதன்மை அச்சிற்குச் சாய்படுகையாகச் செல்லும் OD என்ற கதிர் $AP_1B$ என்ற



படம் 3·27

வளைபரப்பில் விழுந்து, ஒளி விலகல்மூலம் DE என்ற திசையில் $\mu_2$ ஒளி விலகெண் உள்ள இரண்டாவது ஊடகத்தினுள் செல்கிறது. $\mu_2 > \mu_1$ ஆக இருந்தால் DE ஒரு குவியும் தன்மையுள்ள கதிராக அமையும். $AP_2B$ என்ற மற்றொரு வளைபரப்பு இல்லாமல் இருந்

தால் DE என்ற விலகு கதிர் நேராகச் சென்று முதன்மை அச்சை $I'$-ல் சந்திக்கும். O விலிருந்து ஒளி மையம் வழியாகச் செல்லும் கதிரும் நேராக $I'$ வந்தடைகின்றது. எனவே, $I'$ முதல் வளை பரப்பில் ஒளிவிலகல் மூலம் வந்தடையும் பொருளின் பிம்பமாக அமையும். $PI'=v'$ எனக்கொண்டால்,

$$\frac{\mu_1}{u}+\frac{\mu_2}{v'}=\frac{\mu_2-\mu_1}{R_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}39$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் $R_1$ என்பது $AP_1B$ என்ற கோளப்பரப்பின் வளைவு ஆரம்பமாகும். DE என்ற இந்த விலகுகதிர் படுகைப்புள்ளி E-யை அடைந்தவுடன் $AP_2B$ என்ற கோள விலகு பரப்பில் பட்டு ஒளி விலகல் மூலம் திசைமாற்றப்பட்டு, EI வழியாகச் செல்கின்றது. $AP_2B$ என்ற இந்த வளைபரப்பைப்பொறுத்தவரை $I'$, $\mu_2$ ஒளிவிலகெண் உடைய இரண்டாவது ஊடகத்தினுள் வைக்கப்பட்ட ஒரு மாயப் பொருளாகும். இந்த மாயப்பொருளின் மெய்பிம்பம் I-யில் விழுகின்றது. ஒளி மையத்திலிருந்து I-யின் தொலைவு $v$ ஆகக் கொண்டால் இரண்டாவது வளைபரப்பின் வளைவு ஆரம் $r_2$ ஆனால்,

$$\frac{\mu_2}{-v'}+\frac{\mu_1}{v}=\frac{\mu_2-\mu_1}{R_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}39\,(a)$$

சமன்பாடு 3·39-யையும், 3·39 (a)யும் கூட்டினால்

$$\frac{\mu_1}{u}+\frac{\mu_1}{v}=\left(\mu_2-\mu_1\right)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\left(\frac{\mu_2}{\mu_1}-1\right)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

முதல் ஊடகம் காற்று என்றால் $\mu_1=1$, $\mu_2=\mu$

$$\therefore \quad \frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\left(\mu-1\right)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}40$$

3·25. **வில்லையின் குவியத்தூரம் :** ஒரு பொருளை வில்லையின் முதன்மை அச்சில் எந்த ஒரு புள்ளியில் வைத்தால் அப் பொருளின், பிம்பம், முடிவில்லாத் தொலைவில் அமையுமோ, அந்தப் புள்ளியை முதல் முதன்மைக் குவியம் என்கிறோம்.

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{\infty}=\frac{1}{f_1}=(\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

முடிவில்லாத் தொலைவில் இருக்கின்ற ஒரு பொருளின் பிம்பம் வில்லையின் முதன்மை அச்சில் எந்த ஒரு புள்ளியில் விழுகிறதோ, அந்தப் புள்ளியை வில்லையின் இரண்டாவது முதன்மைக் குவியம் என்கிறோம்.

$$\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f_2}=(\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

எனவே, $f_1=f_2$ எனவாகிறது. பொதுவாக இரண்டாவது முதன்மைக் குவியந்தான் ஒரு வில்லையின் குவியம் (focus) என்று அழைக்கப்படுகின்றது.

$$\therefore \quad \frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

ஒரு குவி வில்லையின் குவியத்தூரம், நேர்குறி உடையதாகவும் குழிவில்லையின் குவியத்தூரம் எதிர்க்குறி உடையதாகவும் கொள்ளப்படும்.

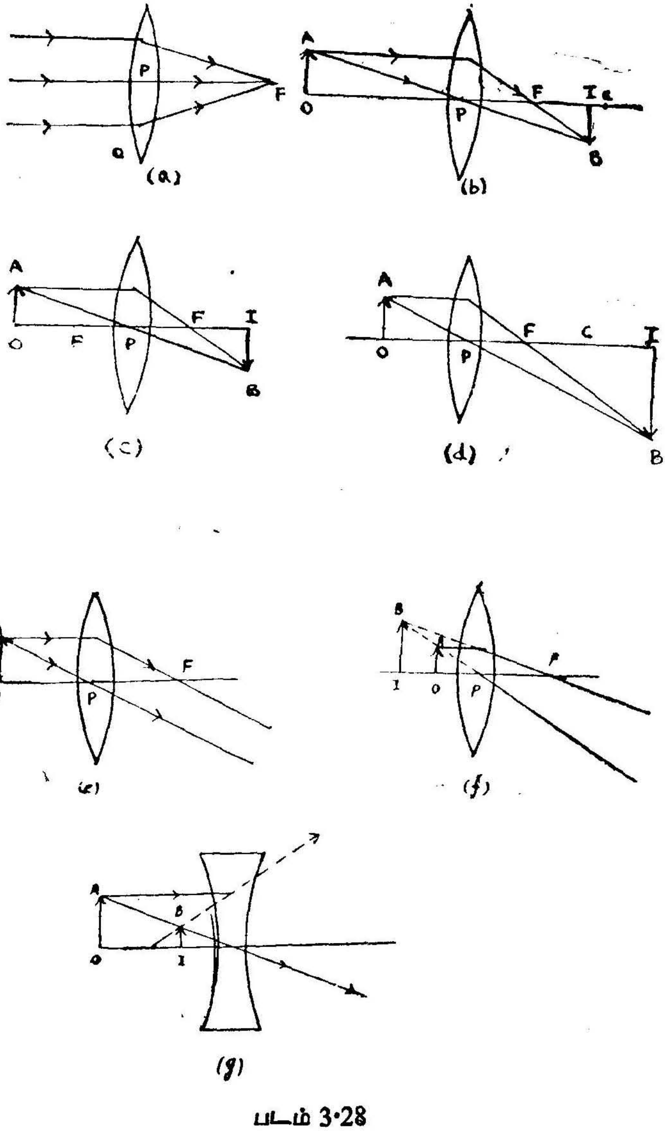
3·26. வடிவியல் முறைப்படி பிம்பங்களின் நிலை, இயல்பு ஆகியவற்றைக் காணல் : ஒளி ஒரு வில்லையின் மூலம் ஊடுருவும் பொழுது, சில பௌதிக உண்மைகளைக் கருத்தில் கொண்டு வடிவியல் முறைப்படி ஒரு பொருளுக்கான பிம்பத்தின் நிலை மற்றும் இயல்பு இவற்றைக் காண முடியும். பின் கண்ட விதிகளில் ஏதாவது இரண்டினைப் பயன்படுத்தி, பிம்பங்களின் தோற்றங்களை வரைய இயலும்.

(1) ஒளி மையத்தின் வழியாகச் செல்லும் ஒரு கதிர், திசை மாற்றமடையாமல் அதே திசையில் மேலும் செல்கின்றது.

(2) முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகச் செல்லும் ஒரு கதிர், வில்லை பரப்பில் ஒளிவிலகல் ஏற்பட்ட பின், குவிவில்லையாக இருந்தால் குவியம் வழியாகச் செல்வதாகவும், குழி வில்லையாக இருந்தால், அதன் குவியத்திலிருந்து வருவது போலவும் அமையும்.

(3) ஒரு குவி வில்லையின் குவியத்தின் வழியாகச் சென்று, வில்லை பரப்பை அடையும் ஒரு கதிர் ஒளி விலகலுக்குப்பின் முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகச் செல்லும். குழிவில்லையாக இருப்பின், அதன் குவியத்திலிருந்து வருவதுபோல் தோற்றமளிக்கும் ஒரு கதிர், ஒளி விலகலுக்குப்பின் அதன் முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகச் செல்லும். ஒரு வில்லைக்கு முன் வெவ்வேறு

தொலைவுகளில் வைக்கப்பட்ட OA என்ற பொருளுக்கான பிம்பங்களின் இடத்தையும், அதன் இயல்பையும், படம் 3·28 விளக்குகிறது.




படம் 3·28

கீழ்க்கண்ட அட்டவணை அவற்றைச் சிறப்பாக விளக்கும்.

| பொருள் அமைந்த இடம் | பிம்பம் அமையும் இடம் | பிம்பத்தின் நிலை, இயல்பு |
|---|---|---|
| 1. முடிவிலாத் தொலைவு | குவியம் | புள்ளியளவு மெய்பிம்பம், தலைகீழ் |
| 2. 2F-க்கும் அப்பால் | F-க்கும் 2F-க்கும் இடையில் | சிறிய மெய்ப்பிம்பம் தலைகீழ் நிலை |
| 3. 2F-ல் | 2 F-ல் | பொருளளவு மெய்ப்பிம்பம் தலைகீழ் |
| 4. F-க்கும் 2 F-க்கும் இடையில் | 2 Fக்கு அப்பால் | பொருளைவிடப் பெரிய அளவு மெய்ப்பிம்பம், தலை கீழ் நிலை |
| 5. F-ல் | முடிவிலாத் தொலைவில் | — |
| 6. F-க்கும் ஒளி மையத்திற்கும் இடையில் | — | பொருளைவிடப் பெரிய அளவு மாயபிம்பம், நேரான நிலை |
| 7. (குழிவில்லை) எவ்விடத்தும் | பொருள் இருக்கும் பக்கத்தில், குவியத்திற்கும் வில்லைக்கும் இடையில் | பொருளைவிடச் சிறிய, நேரான மாயபிம்பம் |

**3·27.** ஒரு வில்லையின் குவியத்தூரம், வில்லையிலிருந்து பொருளின் தொலைவு, பொருளின் தொலைவு, பிம்பத்தின் தொலைவு இவற்றிற்கிடையே உள்ள சமன்பாடு.

அ. குவி வில்லை: படம் 3·29ல் L என்ற ஒரு குவி வில்லையின் முன் அதன் முதன்மை அச்சின்மேல் OA என்ற ஒரு பொருள், வில்லையின் ஒளிமையத்திலிருந்து $u$ தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ளதாகக் கொள்வோம். பொருளின் பிம்பம் ஒளி மையத்திலிருந்து $v$ தொலைவில் அமையட்டும். வில்லையின் குவியம், F எனக் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. $PF = f$

AOP, BIP என்ற இரு முக்கோணங்களும் ஒத்த முக்கோணங்கள். எனவே,

$$\frac{IB}{OA}=\frac{IP}{OP} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 3{\cdot}42$$

QPF, BIF என்ற இரு முக்கோணங்களும் ஒத்த முக்கோணங்கள்.

எனவே, $\frac{IB}{QP}=\frac{FI}{PF}$

மேலும் QP = OA ஆகும். ஆகையால்,

$$\frac{IB}{OA}=\frac{FI}{PF} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 3{\cdot}43$$

சமன்பாடு 3·42 ஐயும் 3·43 ஐயும் இணைத்தால்,

$$\frac{IP}{OP}=\frac{FI}{PF}=\frac{PI-PF}{PF}$$

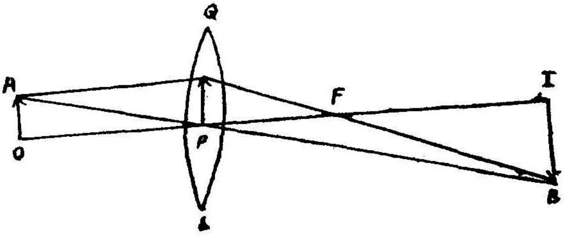
$$\therefore \quad \frac{v}{u}=\frac{v-f}{f}$$

$$\therefore \quad uv-uf=vf$$

$$uv=vf+uf$$

$u f v$ ஆல் இரு பக்கங்களையும் வகுத்தால்

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{u}+\frac{1}{v} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 3{\cdot}44$$




படம் 8·29

(ஆ) குழிவில்லை: ஒரு குழி வில்லையின் முதன்மை அச்சில் ஒளிமையத்திலிருந்து $u$ தொலைவில் OA என்னும் பொருள் வைத்திருப்பதாகக் கொள்வோம். (படம் 3·30) IB என்னும் மாயபிம்பம் ஒளிமையத்திலிருந்து $v$ தொலைவில் தோற்றமளிப்பதாகக் கொள்வோம்.

OAP, IBP என்ற இரு முக்கோணங்களும் ஒத்த முக்கோணங்கள். எனவே, $\frac{IB}{OA}=\frac{IP}{OP}$ ... ... ... 3·45

மேலும்,

FBI, FQP என்ற இரு முக்கோணங்களும் ஒத்த முக்கோணங்கள், ஆகையால்,

$$\frac{IB}{PQ}=\frac{FI}{FP}$$

மேலும்,

PQ=OA ஆகையால்,

$$\frac{IB}{OA}=\frac{FI}{FP} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}46$$

சமன்பாடு (3·45) ஐயும் (3·46) ஐயும் இணைத்தால்.

$\frac{IP}{OP}=\frac{FI}{FP}$ எனவாகும்.

வில்லையின் குவியத் தூரம் $-f=$ (FP) என்றால்,

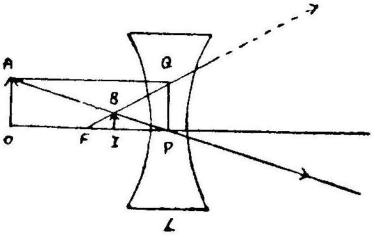
$$\frac{-v}{u}=\frac{-f-(-v)}{-f}$$

$$-uf+uv=vf$$

$$\therefore \quad uv=vf+uf$$

$u\,v\,f$ ஆல் இரு பக்கங்களையும் வகுத்தால்

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{u}+\frac{1}{v} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}47$$




படம் 3.30

8·28. நீள் உருப்பெருக்கம் (Linear magnification) பிம்பத்தின் அளவிற்கும், பொருளின் அளவிற்கும் உள்ள தகவு நீள் உருப்பெருக்கம் எனப்படும்.

$$\frac{IB}{OA} = \text{நீள் உருப்பெருக்கம்}$$

படம் 3·29-ல்

$$\frac{IB}{OA} = \frac{v}{u}$$

$$\therefore \quad m = \frac{v}{u}$$

$$\frac{IB}{OA} = \frac{v-f}{f}$$

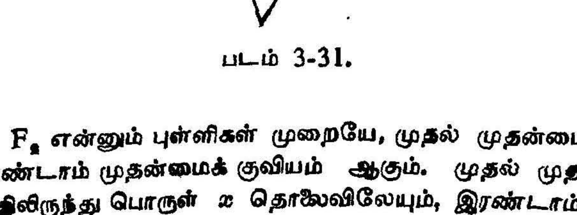
$$\therefore \quad m = \frac{v-f}{f} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad 3\cdot48$$

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \text{ ஆதலால்}$$

$$\frac{u}{v} + 1 = \frac{u}{f}$$

$$\therefore \quad \frac{v}{u} = \frac{f}{u-f} = m \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad 3\cdot49$$

3·29. நியூட்டனின் சமன்பாடு: குவியத் தூரம் $f$ உடைய $L$ என்ற ஒரு வில்லையின் முதன்மை அச்சில் ஒளி மையத்திலிருந்து $u$ தொலைவில் ஒரு பொருள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். அதன் பிம்பம் I என்ற புள்ளியில் விழட்டும். (படம் 3·31) அப்பிம்பம் ஒளி மையத்திலிருந்து தொலைவில் இருக்கட்டும்.




படம் 3-31.

$F_1$, $F_2$ என்னும் புள்ளிகள் முறையே, முதல் முதன்மைக் குவியம், இரண்டாம் முதன்மைக் குவியம் ஆகும். முதல் முதன்மைக் குவியத்திலிருந்து பொருள் $x$ தொலைவிலேயும், இரண்டாம் முதன்மைக் குவியத்திலிருந்து பிம்பம் $y$ தொலைவிலேயும் அமைந்தால்,

$$F_1 O = x = u - f$$
$$F_2 I = y = v - f$$

எனவே, $xy = (u-f)\ (u-f)$
$$= uv - uf - vf + f^2$$
$$= uv - f\ (u+v) + f^2$$
$f\ (u+v) = u\, v$ ஆதலால்,
$$xy = f^2 \qquad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 3{\cdot}50$$

இதுவே, வில்லைகளுக்கான நியூட்டனின் சமன்பாடு எனப்படும்.

3·30. ஒரு குவி வில்லையின் பொருளுக்கும், மெய்பிம்பத்திற்கும் இடையே உள்ள சிறுமத் தொலைவு:

பொருளுக்கும் குவி வில்லையினுல் உண்டாகும் மெய்பிம்பத்திற்கும் இடையே உள்ள தொலைவு $l$ என இருக்கட்டும். $u$, $v$ இவைகள் முறையே, வில்லையிலிருந்து பொருளின் தொலைவாகவும், பிம்பத்தின் தொலைவாகவும், $f$ என்பது வில்லையின் குவியத் தூரமாகவும் இருந்தால்,

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$$

$l=u+v$ ஆதலால்

$$v=+l-u$$

$$\therefore \quad \frac{1}{u}+\frac{1}{(l-u)}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{u+(l-u)}{u(l-u)}=\frac{1}{f}$$

அல்லது, $u^2-uf+lf=0$

எனவே, $u=\dfrac{l+\sqrt{l^2-4lf}}{2}$

$u$ ஒரு மெய்யளவு ஆதலால்,

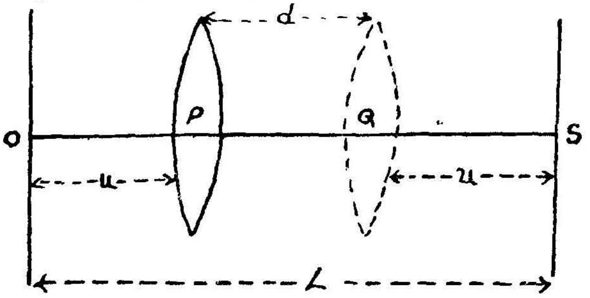
$l^2$, $4lf$ ஐவிடக் குறைவாக அமைய முடியாது. எனவே $l^2$ன் சிறும அளவு $4lf$ ஆகும்.

$$\therefore \quad l=4f$$

ஆகவே, ஒரு பொருளுக்கும், வில்லை வழி உருவாகும் அதன் மெய் பிம்பத்திற்கும் இடைப்பட்ட சிறும அளவு அந்த வில்லையின் குவியத் தூரத்தைப்போல் நான்கு மடங்காகும்.

3·31. லென்சின் பரிமாற்றுப்புள்ளிகள் (Conjucate Positions) : பொருளுக்கும் பிம்பத்திற்கும் இடையே உள்ள தொலைவு அந்த

வில்லையின் $4f$க்கு மேற்பட்டிருந்தால்தான் மெய்ப்பிம்பம் உருவாக முடியும் எனப் பார்த்தோம், அந்தச் சிறுமத் தொலைவிற்கு மேற்பட்ட தொலைவு இருக்குமாறு ஒரு பொருளையும், வெண்திரை ஒன்றையும் வைத்து அவைகளுக்கிடையில் ஒரு வில்லையை வைத்துச் சரிசெய்தால், இரு இடங்களில், வில்லை அமையும் பொழுது பொருளின் பிம்பம் தெளிவாகத் திரையில் விழுகின்றது. வில்லை அமையும் அவ் விரு புள்ளிகளும் பரிமாற்றுப் புள்ளிகள் எனப்படும். படம் 3·32ல் O என்ற பொருளுக்கும் S என்ற திரைக்கும், இடையே உள்ள தொலைவு $L$ $(L>4f)$ ஆக இருக்கட்டும். இப்பொழுது வில்லை P, Q என்ற இரு இடங்களில் அமையும்பொழுதும், பொருளின் தெளிவான பிம்பம் திரையில் விழுகின்றது. P, Qவிற்கு இடைப்பட்ட தொலைவு $d$ ஆக இருக்




படம் 3·32

கட்டும். $u$, $v$ இவைகள் முறையே வில்லை Pயில் இருக்கும்பொழுது வில்லையிலிருந்து பொருளும், பிம்பமும் உள்ள தொலைவு ஆனால்,

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{u+v}{uv}=\frac{1}{f} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \qquad 3{\cdot}51$$

வில்லை Qவில் இருக்கும்பொழுது $u'$, $v'$ இவைகள் வில்லையிலிருந்து முறையே பொருளும் பிம்பமும் அமையும் தொலைவானால்,

$$\frac{1}{u'}+\frac{1}{v'}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{u'+v'}{u'v'}=\frac{1}{f} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \qquad 3{\cdot}52$$

சமன்பாடுகள் (3·51), (3·52)களை இணைத்தால்,

$$\frac{u+v}{uv}=\frac{u'+v'}{u'v'}=$$

$\therefore \quad u'v' = uv$ (ஏனெனில் $u+v+u'+v'=l$)

மேலும்,

$$u'-u=d$$

$$v-v'=d$$

$$\therefore \quad \frac{uv}{v'}-u=v-v'$$

$$u\left(\frac{v}{v'}-1\right)=v-v'$$

$$u\ (v-'v)=v'\ (u-v')$$

$$\therefore \quad u=v'$$

இதுபோலவே, $\quad v=u'$

எனவே, இந்த இரு இடங்களிலும் வில்லை அமையும்பொழுது ஒன்றின் பொருள் தொலைவு, மற்றொன்றின் பிம்பத் தொலைவாக அமைகிறது. இந்த இரு இடங்களும் பரிமாற்றுப் புள்ளிகளாகும்.

$$u+v=l$$

$$v-u=d$$

$$\therefore \quad u=\frac{l-d}{2}$$

$$v=\frac{l+d}{2}$$

$$\therefore \frac{1}{f}=\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{2}{l-d}+\frac{2}{l-d}.$$

$$=\frac{4l}{l^2-d^2}$$

$$\therefore \quad f=\frac{l^2-d^2}{4l} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}53$$

3·32. **வில்லைகளின் தொகுப்பு: ஒன்றோடொன்று ஒட்டி அமையும் இரு மெல்லிய வில்லைகள் (two thin lenses in contact):** ஒரே அச்சில் அமையப்பெற்றதும், முறையே $f_1$, $f_2$ குவியத் தூரம் உள்ளதுமான, இரு மெல்லிய வில்லைகள் ஒன்றோடொன்று ஒட்டி வைத்திருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்த இரு வில்லைகளிலிருந்தும் $u$ தொலைவு தள்ளி அவைகளின் முதன்மை அச்சில், ஒரு புள்ளிப் பொருள் இருக்கட்டும். முதல் வில்லையில் ஒளிவிலகல் நிகழ்ந்தது, பொருளின் பிம்பம்,

$v^1$ தொலைவில் தோன்றுவதாக வைத்துக் கொண்டால்,

$$\frac{1}{v^1}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f'} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3.54$$

இந்தப் பிம்பம், இரண்டாவது வில்லைக்கு மாயப்பொருளாக அமைகிறது. இரண்டாவது வில்லையில் ஒளிவிலக்கம் நிகழ்ந்த பிறகு இதன் பிம்பம், வில்லையிலிருந்து $v$ தொலைவில் அமைந்தால்,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{-v^1}=\frac{1}{f_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3.55$$

சமன்பாடு (3.54) யும் (3.55) யும் கூட்டினால்,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \text{ எனவாகிறது.} \quad \ldots \quad 3.56$$

இந்த இரு வில்லைகளும் இருக்குமிடத்தில் அவைகளுக்குப் பதிலாக F குவியத் தூரம் உள்ள ஒரே வில்லையை வைத்து, அதன் முன்பு $u$ தொலைவிலுள்ள ஒரு பொருளின் பிம்பம், அதனின்றும் $u$ தொலைவில் அமைவதாக வைத்துக்கொள்வோம்.

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{F} \quad \ldots \quad 3.57$$

சமன்பாடு (3.56) யும் (3.57) யும் ஒப்பு நோக்கினால்,

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$$

இந்த F என்ற குவியத் தூரம் உடைய ஒரு வில்லை அவ் விரு லென்சுகளுக்கான இணைமாற்று வில்லையாகும். முறையே $f_1$, $f_2$, $f_3$ குவியத் தூரம் உடைய பல மெல்லிய வில்லைகள் ஒன்றோடொன்று ஒட்டி அமைக்கப்பட்டிருந்தால், அந்தக் கூட்டமைப்பின் குவியத் தூரம் பின்கண்ட சமன்பாட்டின்படி அமையும்.

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}+\frac{1}{f_3}+\ldots+ \quad \ldots \quad 3.58$$

3.33 கார்டினல் புள்ளிகள் : ஒரு மெல்லிய வில்லையைப் பொறுத்தவரையில் குறிப்பிட்ட தொலைவில் உள்ள ஒரு பொருளின் பிம்பம் விழக்கூடிய இடத்தை அந்த வில்லையின் குவியத் தூரத்தின் அளவைக்கொண்டு சுட்டிக்காட்ட முடியும். மேலும், ஒரு வில்லையின் பரிமாற்றுப் புள்ளிகளையும், அதன் குவியத் தூரத்தையும், இணைத்து உருவாக்கப்பட்ட சமன்பாட்டில்கூட வில்லையின் கனத்தைக் கருத்தில் கொள்வதில்லை. பரிமாற்றுப் புள்ளிகளுக்கிடையில் உள்ள தொலைவைக் கருதும்பொழுது, வில்லையின் கனம் மிகச் சிறியதாகையால், அதைப் பொருட்படுத்தாமையில் தவறில்லை.

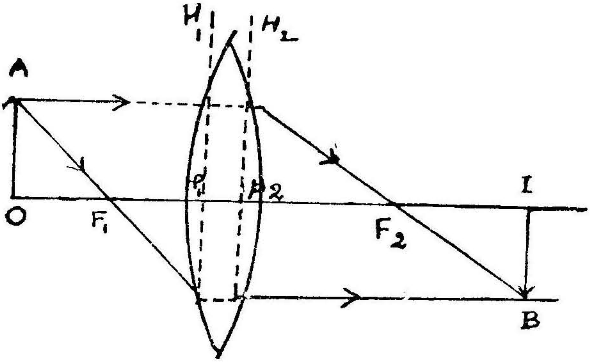
ஆனால், கனம் மிகுந்த வில்லைகளையோ அல்லது பல வில்லைகளின் தொகுப்பையோ கருதும்பொழுது, இந்த வில்லைகளின் கனம் மிகுதி யாக வேறுபடும். எனவே, ஒளிவிலகலின்போது, ஏற்படும் சில பௌதிகப் பண்புகளைக்கொண்டு, பொருளின் தொலைவையும் பிம்பத்தின் தொலைவையும் ஒரே புள்ளியிலிருந்து அளவிடாமல், வெவ்வேறு புள்ளிகளிலிருந்து அளவிடலாம். அந்தப் புள்ளிகளை நிர்ணயிக்க, பின் கண்ட உண்மைகளைக் கருத்தில் கொள்ளுதல் வேண்டும்.

1. ஒரு வில்லையின் பொருள் வெளியில் அமைந்துள்ள, ஒவ்வொரு புள்ளிக்கும் பிணையாக, அதன் பிம்ப வெளியில் மற்றொரு புள்ளி அமைந்திருக்கும். பொருள் வெளியில் அமைந்திருக்கும் ஒரு புள்ளிக்குப் பிணையான மற்றொரு புள்ளி அதன் பிம்பம் எனப்படுகின்றது. பொருள் வெளியிலுள்ள ஒரு புள்ளியின் வழியாகவும், முதன்மை அச்சுக்கு நேர்குத்தாகவும், அமையப்பெற்ற ஒரு தளத்தில் உள்ள ஒரு பொருளின் பிம்பம், பிம்ப வெளியில், பிணைப் புள்ளி வழியாகவும், முதன்மை அச்சிற்கு நேர்குத்தாகவும் செல்லும் தளத்தில் அமையும். இவ் விரண்டு தளங்களும் பரிமாற்று (conjucate planes) தளங்கள் எனப்படும்.

2. ஒரு தளப்பொருளும், அதனுடைய பிம்பமும் ஓர் ஒழுங்கு நியதியின் அடிப்படையில் அமைவதால், இரு பிணை தளங்களுக்கிடையே உள்ள நீள் பெருக்கமும், மாருத ஓர் அளவைக் கொண்டிருக்கும். மேலும், கோண உருப்பெருக்கமும், நீள உருப்பெருக்கமும் ஒன்றுக்கொன்று சார்புடையவை. இவ் வுண்மைகளைக் கருத்தில் கொண்டு அமைக்கப்படும் புள்ளிகள் ஒரு வில்லையின் 'கார்டினல் புள்ளிகள்' எனப்படுகின்றன. அப் புள்ளிகளின் வழியாகவும் வில்லையின் முதன்மை அச்சிற்கு நேர்குத்தாகவும் அமையும் தளங்கள், 'கார்டினல் தளங்கள்' எனப்படுகின்றன. அவையாவன:

(அ) குவியப் புள்ளிகளும், குவியத் தளங்களும் (Focal points and Focal planes): பொருள் வெளியில் முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகச் செல்லும் ஒரு கதிர் வில்லை வழி சென்ற பின், பிம்ப வெளியில், முதன்மை அச்சின் ஒரு புள்ளி ($F_2$) வழியாகச் செல்லும். அதுபோலவே, பொருள் வெளியில் முதன்மை அச்சில், ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளி ($F_1$) வின் வழியாகச் செல்லும் ஒரு கதிர், வில்லை வழி பிம்ப வெளியை அடையும்பொழுது, அது முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகச் செல்கிறது. இவ் விரு புள்ளிகளும், முறையே இரண்டாம் குவியப் புள்ளிமுதல் குவியப் புள்ளி என அழைக்கப்படுகின்றன. முதன்மை அச்சிற்கு நேர்குத்தாகவும், இந்தப் புள்ளிகளின்

வழியாகவும், அமையும் தளங்களை முறையே இரண்டாம் குவியத் தளம், முதல் குவியத் தளம் எனவும் அழைக்கின்றோம்.




படம் 3·33

படம் 3-33ல் $F_1$, $F_2$ முறையே, முதல் குவியப் புள்ளியும் இரண்டாம் குவியப் புள்ளியும் ஆகும்.

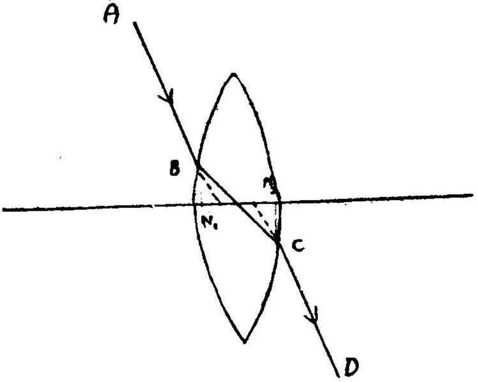
(ஆ) முதன்மைப் புள்ளிகளும், முதன்மைத் தளங்களும்: (Principal paints and Principal planes) : வில்லை அமைப்பு ஒன்றில் முதன்மை அச்சில் குறிப்பிடப்பட்ட ஒரு புள்ளியில் வைக்கப்பட்ட ஒரு பொருளுக்கான பிம்பம், மாயபிம்பமாகவும், பொருளின் நீள் அளவையே உடையதாகவும் முதன்மை அச்சிலேயே பிறிதொரு புள்ளியில் அமையும். அவ் விரு புள்ளிகளும், முதன்மைப் புள்ளிகள் எனப்படும். சுருங்கக்கூறின், முதன்மை அச்சில், எந்த இரு புள்ளிகளுக்கிடையேயான நீள் உருபெருக்கம் (−1) ஆக அமைகிறதோ அவ் விரு புள்ளிகளும் முதன்மைப் புள்ளிகள் எனப் படும். அவ் விரு புள்ளிகளின் வழியாக, முதன்மை அச்சிற்கு நேர் குத்தாகச் செல்லும் தளங்கள் முதன்மைத் தளங்கள் எனப்படு கின்றன.

படம் 3·38ல் $P_1$, $P_2$ இவை இரண்டும் முதன்மைப் புள்ளிகளாகும்.

$P_1 H_1$, $P_2 H_2$, இவை இரண்டும், முதன்மைத் தளங்களாகும்.

(இ) அதிர்விலாப் புள்ளிகளும், அதிர்விலாத் தளங்களும் (Nodal points and Nodal planes) வில்லை அமைப்பு ஒன்றின் முதன்மை அச்சில் உள்ள, குறிப்பிட்ட ஒரு புள்ளியை நோக்கிச் செல்லும் ஒரு கதிர், ஒளி விலகலுக்குப் பிறகு, முதன்மை அச்சில் அமைந்திருக்கும் மற்றொரு புள்ளியிலிருந்து வருவது போலவும்,

படுகதிருக்கு இணையாக அமைந்தும் இருந்தால், அவ் விரு புள்ளி களும் அதிர்விலாப் புள்ளிகள் எனப்படும்.




படம் 3·34

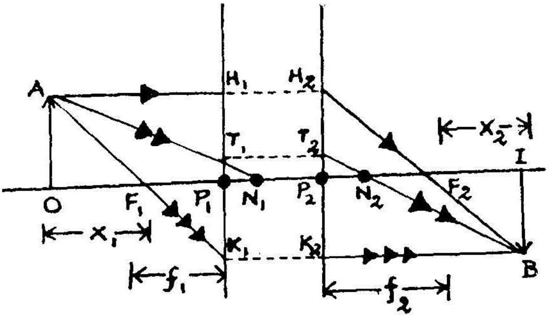
படம் 3·34ல் AB என்ற படுகதிர் முதன்மை அச்சிலுள்ள $N_1$ என்ற புள்ளியை நோக்கிச் செல்கிறது. அது வில்லையினுள் BC என்ற திசையில் சென்று C என்ற படுகைப்புள்ளியில் மீண்டும் விலகி CD என்ற திசையில் ABக்கு இணையாகச் செல்கிறது. CD யைப் பின்னுக்கு நீட்டினுல் அது முதன்மை அச்சை $N_2$ வில் தொடுகிறது. CD என்ற கதிர் $N_2$ விலிருந்து வருவது போலவும், ABக்கு இணையாகவும் இருந்தால் $N_1$, $N_2$ இவை இரண்டும் அதிர்விலாப் புள்ளிகள் எனப்படும். இப் புள்ளிகளின் வழியாகவும், முதன்மை அச்சிற்கு நேர்குத்தாகவும் வரையப்படும் தளங்கள், அதிர்விலாத் தளங்கள் எனப்படும்.

அதிர்விலாப் புள்ளிகள் வழியாகச் செல்லும் பிணைக்கதிர்கள் இணையாகச் செல்வதால், அவைகளுக்கிடையே உள்ள கோண உருப்பெருக்கத்தின் மதிப்பு ஒன்று ஆகும். எனவே, சுருங்கக்கூறின், முதன்மை அச்சில், எந்த இரு புள்ளிகளுக்கிடையே கோண உருப் பெருக்கம் ஒன்று ஆக அமைகிறதோ, அவ் விரு புள்ளிகளும் அதிர் விலாப் புள்ளிகள் எனப்படும். (ஒரு மெல்லிய வில்லையில் அதிர் விலாப்புள்ளிகள் இரண்டும், ஒளி மையத்துடன் ஒன்றும்.) ஆக, வில்லை அமைப்பு ஒன்றில் ஆறு கார்டினல் புள்ளிகள் உள.

**3·34. பிம்பம் அமையும் இடம் காணுவதற்கான வடிவியல் முறையும் நியூட்டனின் சமன்பாடும் :** ஒரு வில்லையில் கார்டினல் புள்ளிகள் அமையும் இடம் தெரிந்தால், அதற்கு முன் வைக்கப்படும் ஒரு பொருளின் பிம்பத்தை, வடிவியல் முறைப்படி எளிதாகக் கண்டு

கொள்ளலாம். அந்த வில்லையின் கோளப் பரப்பு அமைகின்ற இடத்தையோ, அல்லது அதன் வளைவு ஆரத்தின் அளவையோ, தெரிந்து கொள்ளாமலும்கூட, கார்டினல் புள்ளிகளின் இடத்தை மட்டும் கருத்திற்கொண்டு ஒரு பொருளுக்கான பிம்பத்தின் இடம், அதன் இயல்பு இவைகளைக் காண இயலும்.

$F_1$, $F_2$ என்ற இரு குவியப் புள்ளிகளையும், $P_1$, $P_2$ என்ற இரு முதன்மைப் புள்ளிகளையும் $N_1$, $N_2$ என்ற அதிர்விலாப் புள்ளிகளையும் படம் (3·35)-ல் காட்டிய நிலையில் உள்ள ஒரு வில்லை அமைப்பை எடுத்துக்கொள்ளலாம். அந்த அமைப்புக்கு முன் OA என்ற ஒரு பொருள், வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம்.




படம் 3·35

வரைமுறை: 1. $AH_1$ என்ற முதன்மை அச்சிற்கு இணையான ஒரு நேர்கோடு முதல் முதன்மைத் தளத்தில் $H_1$-ல் தொடுவது போல் அமைப்போம். இதன் பிணைக் கதிர், $H_1P_1 = H_2P_2$ என இருக்குமாறு $H_2$ விருந்து, இரண்டாம் குவியத்தின்வழியே செல்கிறது.

2. $AF_1$ என்ற முதல் குவியத்தின் வழியாகச் செல்லும் கதிர் ஒன்று வரைவோம். இது முதல் முதன்மைத்தளத்தை $K_1$-ல் தொடுமேயானால் $P_1K_1 = P_2K_2$ என இருக்குமாறு இரண்டாம் முதன்மைத்தளத்திலிருந்து முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகச் செல்லும். $K_2B$ என்ற நேர்கோடு $AF_1$-ன் விடுகதிரைக் குறிக்கும்.

3. $N_1$ என்ற முதல் அதிர்விலாப்புள்ளி வழியாக $AN_1$ என்ற நேர்கோடு ஒன்று வரைவோம். அந்த நேர்கோடு முதல் முதன்மைத் தளத்தை $T_1$-ல் தொட்டால். இரண்டாம் முதன்மைத் தளத்திலிருந்து $P_1T_1 = P_2T_2$ என இருக்குமாறு $N_2$ வழியாகச் செல்லும் $N_2T_2$ என்ற கதிர் $AN_1$-க்கு விடுகதிராக அமையும். அது $AN_1$ என்ற படுகதிருக்கு இணையாகவும் இருக்கும்.

4. நேர்கோடுகள் $H_2F_2 \cdot N_2T_2$ மற்றும், $K_2$ விலிருந்து அச்சிற்கு இணையாகச் செல்லும் நேர்கோடு, இவை மூன்றும் கூடும் புள்ளிதான் Aயின் பிம்பமாகும். ஒழுங்கு நியதிப்படி IB, OA யின் பிம்பமாக அமையும்.

$\triangle AOF_1$, $\triangle F_1P_1K_1$ ஒத்த முக்கோணங்கள்

$$\therefore \quad \frac{K_1P_1}{OA} = \frac{P_1F_1}{OF_1}$$

$K_1P_1 = IB$ ஆதலால்

$$\frac{IB}{OA} = \frac{P_1F_1}{OF_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}59$$

மேலும்,

$\triangle IBF_2$, $\triangle H_2P_2F_2$ இவை ஒத்த முக்கோணங்கள்

எனவே, $$\frac{IB}{H_2P_2} = \frac{IF_2}{P_2F_2}$$

$H_2P_2 = OA$ ஆதலால்,

$$\frac{IB}{OA} = \frac{IF_2}{P_2F_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}60$$

சமன்பாடுகள் (3·59), (3·60) இவைகளை இணைத்தால்,

$$\frac{P_1F_1}{OF_1} = \frac{IF_2}{P_2F_2}$$

$$P_1F_1 = f_1$$
$$P_2F_2 = f_2$$
$$OF_1 = X$$
$$IF_2 = Y$$

எனக்கொண்டால், $$\frac{f_1}{x} = \frac{y}{f_2}$$

$$xy = f_1 f_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}61$$

சமன்பாடு (3-61) நியூட்டனின் சமன்பாடு எனப்படுகின்றது.

$x_1$-ம் $y$-ம் பொருளும், பிம்பமும் முறையே முதல் குவியத்திலிருந்தும், இரண்டாவது குவியத்திலிருந்தும் அமையும் தொலைவாகக் கொண்டு மேற்கூறிய சமன்பாட்டை வகுத்துள்ளோம். மாறாக, பொருளின் தொலைவை முதன்மைப் புள்ளியிலிருந்தும், பிம்பத்தின் தொலைவை இரண்டாம் முதன்மைப் புள்ளியிலிருந்தும் அளவிட்டுக் குறிப்பது ஓர் எளிய சிறப்பான முறையாகும்.

$$P_1O = u$$
$$P_2I = v$$

மேலும்,
$$OA = P_1H_1 = P_2H_2 = h_1$$
$$IB = P_1K_1 = P_2K_2 = h_2$$
$$H_1K_1 = P_1K_1 + P_1H_1 = h_1 + h_2$$
$$H_2K_2 = P_2K_2 + P_2H_2 = h_1 + h_2$$

முக்கோணங்கள்,

$K_1F_1P_1$, $K_1AH_1$ இவை ஒத்த முக்கோணங்கள்.

ஆகையால்,

$$\frac{F_1P_1}{AH_1} = \frac{P_1K_1}{K_1H_1} = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}62$$

இதுபோலவே, முக்கோணங்கள்,

$BK_2H_2$, $F_2P_2H_2$ இவை ஒத்த முக்கோணங்கள்.

ஆகையால்,

$$\frac{F_2P_2}{BK_2} = \frac{P_2H_2}{K_2H_2} = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}63$$
$$F_1P_1 = f_1$$
$$AH_1 = P_1O = u$$
$$F_2P_2 = f_2$$
$$BK_2 = P_2I = v$$

எனவே சமன்பாடு (3·62) யும் சமன்பாடு (3·63)யும் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\frac{f_1}{u} = \frac{h}{h_1 + h_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}64$$

$$\frac{f_2}{v} = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 8{\cdot}65$$

சமன்பாடுகள் (3·64)ம், (3·65)ம் கூட்டினால்,

$$\frac{f_1}{u} + \frac{f_2}{v} = 1 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}66$$

இந்த வில்லை அமைப்புக் காற்றுகிய ஊடகத்தில் வைக்கப்பட்டிருந்தால்,

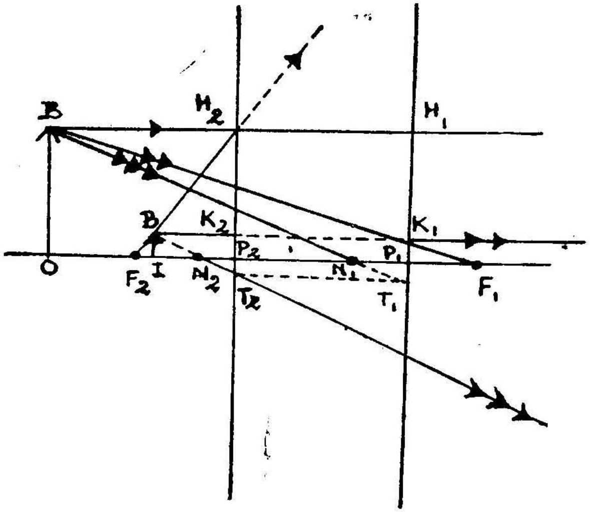
$$f_1 = f_2 = f$$

எனவே,
$$\frac{f}{u}+\frac{f}{v}=1$$

$$\therefore \quad \frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}67$$

ஒளியை விரிக்கும் தன்மை வாய்ந்த வில்லை கூட்டமைப்பிற்கும், இது போன்றே ஒரு சமன்பாட்டைக் காண முடியும்.

விரிகதிர்களால், ஏற்படுத்தக்கூடிய ஒரு மாய பிம்பம், அமையும் விதத்தை படம் 3·36 விளக்குகிறது.



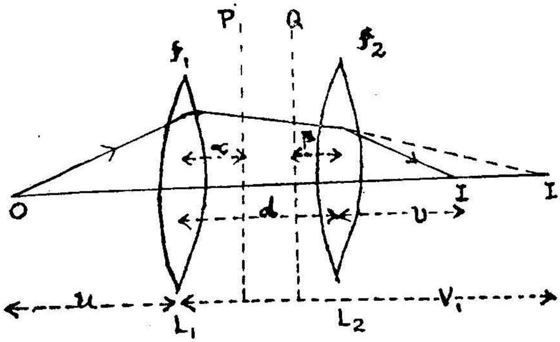

படம் 3·36

எனவே, மெல்லிய வில்லைகளுக்கான சமன்பாட்டையே ஒரு வில்லை கூட்டமைப்புக்கோ, அல்லது ஒரு தடிப்பு மிகு வில்லைக்கோ, பயன் படுத்தலாம். பொருள், மற்றும் பிம்பங்களின் தொலைவுகளை, முதன்மைப் புள்ளிகளிலிருந்து அளவிடவேண்டும்.

3·35. இடைவெளிவிட்டு அமைந்த இரு மெல்லிய வில்லைகளின் இணைமாற்று வில்லின் (Equivalent lens) குவியத்தூரம் காணல்:

O என்னும் புள்ளிப் பொருள் ஒன்று F, குவியத் தூரம் உடைய முதல் வில்லை ($L_1$) னிலிருந்து *u* தொலைவில் இருப்பதாகக் கொள்வோம் (படம் 3·38.) சாய்படுகையான OA என்னும் கதிர் முதல் வில்லையில் ஒளி விலகலுக்குப்பிறகு முதன்மை அச்சில் $L_1$ னிலிருந்து $v_1$ தொலைவில் $I_1$ என்ற புள்ளியில் விழுவதாகக்

கொள்வோம். முதல் வில்லையால் உருவாக்கப்பட்ட O இன் பிம்பமாக $I_1$ அமையும்,




படம் 3·37

ஆகவே,

$$\frac{1}{v_1}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f_1}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{v_1}=\frac{1}{f_1}-\frac{1}{u}$$

$$\therefore \quad v_1=\frac{uf_1}{u-f_1} \qquad \dots \quad \dots \quad \dots \qquad 3{\cdot}68$$

முதல் வில்லையிலிருந்து $d$ தொலைவில் $f_2$ குவியத் தூரம் உடைய $L_2$ என்ற இரண்டாவது வில்லையை வைத்தால், AB என்னும் கதிர் B-யில் மீண்டும் திசைமாறி OI வழியாகச் செல்கிறது. எனவே, I-யில் Oவின் மெய்பிம்பம் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இரண்டாவது வில்லையிலிருந்து $(v_1-d)$ தொலைவில் அமைந்திருக்கும் I′ இரண்டாவது வில்லைக்கு மாயப்பொருளாகவும், I′ அந்த வில்லையிலிருந்து $v$ தொலைவில் அமைந்திருக்கும் முடிவான மெய்பிம்பமாகவும் அமையும். ஆகவே,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{-(v_1-d)}=\frac{1}{f_2}$$

$$\frac{1}{(v_1-d)}=\frac{1}{v}-\frac{1}{f_2}$$

$$\frac{f_2-v}{vf_2}$$

$$\therefore \quad v_1 = \frac{vf_2}{f_2 - v} + d \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}69$$

சமன்பாடு (3·68)யும் சமன்பாடு (3·69)யும் இணைத்தால்,

$$\frac{uf_1}{u-f_1} = \frac{vf_2}{f_2-v} + d$$

$$= \frac{-vf_2}{v-f_2} + d$$

$$\frac{uf_1}{u-f_1} + \frac{vf_2}{v-f_2} - d =$$

$$uf_1(u-f_2) + vf_2(u-f_1) - d(u-f_1)(v-f_2) = 0$$

$$uvf_1 - uf_1f_2 + uvf_2 - uf_1f_2 - uvd + uf_2d + uf - df_1f_2 = 0$$

$$uv(f_1+f_2-d) + v(df_1 - f_1f_2) + u(df_2 - f_1f_2)f_1 v_1 - df_1f_2 = 0$$

$(f_1+f_2-d)$—ஆல் வகுத்தால்

$$uv + v\frac{(df_1 - f_1f_2)}{f_1+f_2-d} + u\frac{(df_2 - f_1f_2)}{(f_1+f_2-d)} - \frac{df_1f_2}{f_1+f_2-d} = 0 \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}70$$

இவ் விரண்டு வில்லைகளுக்கான இணைமாற்று வில்லையின் குவியத் தூரம் F என இருக்கட்டும். அதன் முதன்மைப் புள்ளி, முதல் வில்லையிலிருந்து $\alpha$ தொலைவிலும், அதன் இரண்டாம் முதன்மைப் புள்ளி இரண்டாவது வில்லையிலிருந்து $\beta$ தொலைவிலும் அமைவதாகக் கொள்வோம். அப்பொழுது இணைமாற்று வில்லையின் முதன்மைப் புள்ளியிலிருந்து பொருளின் தொலைவு $u+\alpha$ ஆகவும், இணைமாற்று வில்லையின் இரண்டாம் முதன்மைப் புள்ளியிலிருந்து பிம்பத்தின் தொலைவு $v+\beta$ ஆகவும் அமையும். இவைகளை முறையே, X, U, V என வைத்துக் கொள்வோம்.

$$\therefore \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{U} + \frac{1}{V}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{u+\alpha} + \frac{1}{v+\beta}$$

அல்லது

$$\frac{1}{F} - \frac{1}{u+\alpha} - \frac{1}{v+\beta} = 0$$

$$(u+\alpha)(v+\beta) - F(v+\beta) - F(u+\alpha) = 0$$

$$(uv + u\beta + v\alpha + \alpha\beta - Fv - \beta F - uF - \alpha F = 0$$

அல்லது

$$uv+v(\alpha+F)+u(\beta-F)-(\alpha F+\beta F-\alpha\beta)=0 \quad \dots \quad 3.71$$

சமன்பாடு (3·71) சமன்பாடு (3·72) இவைகளில் உள்ள ஒத்த குணகங்களை, சமனீடு செய்தால்,

$$(\alpha-F)=\frac{df_1-f_1f_2}{f_1+f_2-d} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 3.72$$

$$(\beta-F)=\frac{df_2-f_1f_2}{f_1+f_2-d} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 3.73$$

$$+\alpha F+\beta F-\alpha\beta=\frac{df_1}{f_1+f_2-d} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 3.74$$

சமன்பாடு (3·72) ஐ சமன்பாடு (3·73) ஆல் பெருக்கினால்,

$$\alpha\beta-\alpha F-\beta F+F^2=\frac{(df_1-f_1f_2)(df_2-f_1f_2)}{(f_1+f_2-d)^2}$$

$$\therefore \quad F^2=\frac{(df_1-f_1f_2)(df_2-f_1f_2)}{(f_1+f_2-d)^2}+\frac{df_1f_2}{f_1+f_2-d}$$

$$=\frac{d^2f_1f_2-df_1^2f_2-df_1f_2^2+f_1^2f_2^2+df_1^2f_2+df_1f_2^2-d^2f_1f_2}{(f_1+f_2-d)^2}$$

$$=\frac{f_1^2f_2^2}{(f_1+f_2-d)^2}$$

$$\therefore \quad F=\frac{f_1f_2}{f_1+f_2-d}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}-\frac{d}{f_1f_2} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 3.75$$

(அ) முதன்மைத் தளங்கள் அமையும் இடங்களைக் காணல் : சமன்பாடு (3·72) லிருந்து,

$$\alpha-F=\frac{df_1-f_1f_2}{f_1+f_2-d}$$

$$\therefore \alpha=\frac{df_1-f_1f_2}{f_1+f_2-d}+F$$

$$\therefore \quad =\frac{df_1-f_1f_2}{f_1+f_2-d}+\frac{f_1f_2}{f_1+f_2-d}$$

$$=\frac{df_1}{f_1+f_2-d}$$

$$\therefore \quad \alpha = \frac{dF}{f_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}76$$

இதுபோலவே $\beta = \frac{dF}{f_1}$ என நிரூபிக்கலாம். 3·77

(ஆ) பொருளோ அல்லது பிம்பமோ முடிவிலாத் தொலைவில் அமைந்தால்தான் இடைவெளிவிட்டு அமைக்கப்பட்ட இரு வில்லைகளுக்கான இணைமாற்று வில்லை ஒன்றை அமைக்க முடியும்.

பொருள் முடிவில்லாத் தொலைவில் இருந்தால்,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{u+\alpha} + \frac{1}{v+\beta}$$ என்ற சமன்பாட்டில்

$F = v + \beta$ எனவாகும். 3·78

அதாவது, இணைமாற்று வில்லையை இரண்டாவது வில்லை($L_2$) இருந்த இடத்திலிருந்து $\beta$ தொலைவு இடப்புறம் தள்ளி, வைத்தல் வேண்டும்.

பிம்பம் முடிவில்லாத் தொலைவில் இருந்தால்,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{u+\alpha} + \frac{1}{v+\beta}$$ என்ற சமன்பாடு,

$F = u + \alpha$ எனவாகும். ... ... ... ... 3·79

எனவே, இணைமாற்று வில்லையை, முதல் வில்லை ($L_1$) இருந்த இடத்திலிருந்து $\alpha$ தொலைவு வலப்புறம் தள்ளி வைத்தல் வேண்டும்.

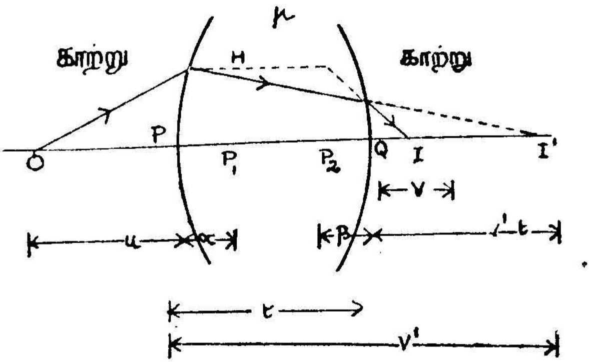
பொருளும் பிம்பமும் வரம்புடைய தொலைவில் அமையப் பட்டால், இரு வில்லைகளின் கூட்டமைப்பினுல் பெறக்கூடிய பிம்பத்தின் இடம், மற்றும் அதன் உருப்பெருக்கம் இவற்றை எந்த ஒரு மெல்லிய இணைமாற்று வில்லையாலும் பெறமுடியாது. அவ்வாறு அமைகின்ற நேரத்தில், தடிவில்லை ஒன்றே அவ்வாருன இணைமாற்று வில்லையாகச் செயல்பட முடியும்.

3·36 ஒரு தடிவில்லையில் ஒளிவிலகல்: '$t$' அளவு தடிப்புள்ளதும் விலகு எண் $\mu$ உள்ளதுமான ஒரு தடிவில்லை காற்றுகிய ஊடகத்தில் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். அந்த வில்லையின் இரு வளைவு ஆரங்களும் $R_1$, $R_2$ வாக இருக்கட்டும். $O$ என்ற புள்ளிப்பொருள் முதன்மை அச்சில் முதலாவது விலகு பரப்பில் இருந்து $u$ தொலைவில் அமைவதாகக் கொள்வோம் (படம் 3·38). முதல் விலகு பரப்பில், ஒளிவிலகல் நிகழ்ந்து, அந்தப்

பொருளின் பிம்பம், முதல் பரப்பிலிருந்து $v'$ தொலைவில் ஒரு மெய் பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கிறது எனக் கொள்வோம். எனவே,

$$\frac{\mu}{v'} + \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{R_1} = K_1$$

$$\therefore \quad v' = \frac{\mu u}{uk_1 - 1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}80$$




படம் 3·38

இந்த மெய்பிம்பம், இரண்டாவது கோளப்பரப்பின்முன், வைக்கப் பட்ட ஒரு மாயப்பொருளாகக் கருதுவோம். அப் பொருளின் மெய் பிம்பம், இரண்டாவது விலகு பரப்பிலிருந்து $v$ தொலைவில் அமைந்தால்,

$$\frac{\mu}{-(v^1 - t)} + \frac{1}{v} = \frac{\mu - 1}{R_2} = k_2$$

$$\therefore \quad \frac{1}{v} - k_2 = \frac{\mu_{v'}}{v' - t}$$

$$\therefore \quad v' - t = \frac{\mu_v}{1 - vk_2}$$

$$\therefore \quad v' = \frac{\mu_v}{1 - vk_2} + t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}81$$

சமன்பாடு (3·80)யும் சமன்பாடு (3·81)யும் இணைத்தால்,

$$\frac{\mu u}{uk_1 - 1} = \frac{\mu_v + t\,(1 - v\,k_2)}{1 - vk_2}$$

$$\therefore \quad \mu u - u_v \mu k_2 = \mu_v\,(uk_1 - 1) + t\,(1 - vk_2)\,(uk_1 - 1)$$

$$\therefore \quad u_v\,(tk_1k_2 - \mu k_1 - \mu k_2) + u\,(\mu - tk_1) + v\,(\mu - tk_2) + t = 0$$

$$\therefore \quad uv + u.\frac{\mu - tk_1}{tk_1k_2 - \mu k_1 - \mu k_2} + v.\frac{\mu - tk_2}{tk_1k_2 - \mu k_1 - \mu k_2} + \frac{t}{tk_1k_2 - \mu k_1 - \mu k_2} = O \quad \ldots 3{\cdot}82$$

$$uv + u.\frac{B}{A} + v.\frac{C}{A} + \frac{D}{A} = O \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}83$$

இதில்,

A-யின் மதிப்பு $tk_1k_2 - \mu k_1 - \mu k_2$
B-யின் மதிப்பு $\mu - tk_1$
C-யின் மதிப்பு $\mu - tk_2$
D-யின் மதிப்பு $t$ ... ... ... 3·84

ஆகும்.

இந்தத் தடிவில்லையின் முதன்மைப் புள்ளிகள் $P_1$, $P_2$ வாக இருக்கட்டும். $P_1$, P-யிலிருந்து $\alpha$ தொலைவிலேயும், $P_2$, Q-விலிருந்து $\beta$ தொலைவிலேயும் இருக்கட்டும்.

இப்பொழுது, $P_1$ என்ற முதன்மைப் புள்ளியிலிருந்து பொருளின் தொலைவு, U எனக் கொள்வோம்.

$$U = u + \alpha \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}85$$

இதுபோலவே $P_2$ என்ற இரண்டாம் முதன்மைப் புள்ளியிலிருந்து பிம்பத்தின் தொலைவு V எனக் கொண்டால்,

$$V = v + \beta \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}86$$

இந்தத் தடிவில்லையின் குவியத் தூரம், F எனின்,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{U} + \frac{1}{V}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{u+\alpha} + \frac{1}{v+\beta} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}87$$

$$\therefore \quad \frac{1}{F} - \frac{1}{u+\alpha} - \frac{1}{v+\beta} = O$$

$$F(uv + u\beta + \alpha v + \alpha\beta) - Fv + F\beta - Fu - F\alpha = O$$

$$uv + u(\beta - F) + v(\alpha - F) + \alpha\beta - \alpha F - \beta F = O \quad \ldots \quad 3{\cdot}88$$

சமன்பாடு (3·88)ல் உள்ள குணகங்களையும், சமன்பாடு (3·83)ல் உள்ள ஒத்த குணகங்களையும் சமனீடு செய்தால்,

$$\beta - F = \frac{B}{A} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}89$$

$$\alpha - F = \frac{C}{A} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}90$$

$$\alpha\beta - \alpha F - \beta F = \frac{D}{A} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3.91$$

சமன்பாடு (3·89)-யும், (3·90)-யும் பெருக்கினால்,

$$(\beta - F)(\alpha - F) = \frac{BC}{A^2}$$

$$\alpha\beta - \alpha F - \beta F + F^2 = \frac{BC}{A^2}$$

$$\therefore \quad F^2 = \frac{BC}{A^2} - (\alpha\beta - \alpha F - \beta F) \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}92$$

F—βF)-க்கு ஆன மதிப்பைச் சமன்பாடு 3·91 லிருந்து பொருத்தினால்,

$$F^2 = \frac{BC}{A^2} - \frac{D}{A}$$

$$\therefore \quad F^2 = \frac{BC - AD}{A^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}93$$

ABCD இவைகளின் மதிப்பை 3·84 லிருந்து எடுத்து இதில் பொருத்தினால்,

$$F^2 = \frac{(\mu - tk_1)(\mu - tk_2)}{(tk_1k_2 - \mu k_1 - \mu k_2)^2} - \frac{t(tk_1k_2 - \mu k_1 - \mu k_2)}{(tk_1k_2 - \mu k_1 - \mu k_2)^2}$$

$$= \frac{\mu^2}{(tk_1k_2 - \mu k_1 - \mu k_2)^2}$$

$$F = \pm \frac{\mu}{tk_1k_2 - \mu k_1 - \mu k_2}$$

$$F = \pm \frac{1}{\frac{t}{\mu} k_1k_2 - k_1 - k_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3{\cdot}94$$

t-யின் மதிப்பு எதுவாக இருந்தபோதிலும் இந்தச் சமன்பாடு பொருத்தமாக அமையவேண்டுமாயின், இதில் எதிர்க்குறியையே எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும்.

$$\therefore \quad F = -\frac{1}{\frac{t}{\mu} k_1k_2 - k_1 - k_2}$$

$$= \frac{1}{k_1+k_2-\frac{t}{\mu}k_1k_2}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{F} = k_1+k_2-\frac{t}{\mu}k_1k_2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 3{\cdot}95$$

மேலும்,

$$K_1=\frac{\mu-1}{R_1}$$

$$K_2=\frac{\mu-1}{R_2}$$ ஆதலால்,

$$\frac{1}{F} = \frac{\mu-1}{R_1}+\frac{\mu-1}{R_2}-\frac{t}{\mu}\cdot\frac{(\mu-1)^2}{R_1R_2}$$

$$\frac{1}{F} = \mu-1\left\{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}-\frac{t}{\mu}\cdot\frac{(\mu-1)}{R_1R_2}\right\} \dots \quad \dots \quad 3{\cdot}96$$

[குறிப்பு: இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்தும், ஒரு மெல்லிய குவி வில்லையின் குவியத் தூரத்தையும் கணக்கிடலாம். மெல்லிய வில்லையின் தடிப்பு $t=0$ சுழி ஆதலால், சமன்பாடு (3·96-ல்) $t=0$ எனக்கொண்டு, மெல்லிய வில்லையின் குவியத் தூரத்தைக் காணலாம்.)

$$\frac{1}{F}=(\mu-1)\left\{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right\}$$

முதன்மைப் புள்ளிகள் அமையுமிடங்கள்: முதல் முதன்மைப் புள்ளி $P_1$, P யிலிருந்து $\alpha$ தொலைவில் அமைகிறது. சமன்பாடு 3·90-ன் படி,

$$\alpha-F = \frac{C}{A}$$

$$\therefore \quad \alpha = \frac{C}{A}+F$$

$$= \frac{\mu-tk_2}{tk_1k_2-\mu k_1-\mu k_2}+\frac{-\mu}{tk_1k_1-\mu k_1-\mu k_2}$$

$$= \frac{-tk_2}{tk_1k_2-\mu k_1-\mu k_2}$$

$$\alpha = \frac{tR_1}{\mu(R_1+R_2)-t(\mu-1)} \quad \dots \quad \dots \quad 3{\cdot}97$$

இதே முறையில் இரண்டாம் முதன்மைப்புள்ளி $P_2$, Q விலிருந்து $\beta$ தொலைவில் அமைந்தால்,

$$\beta = \frac{t\,R_2}{\mu(R_1+R_2) - t(\mu - 1)} \quad \dots \quad \dots \quad 3{\cdot}98$$

என நிரூபிக்கலாம்.

சமன்பாடு 3·97-ஐயை சமன்பாடு 3·98ஆல் வகுத்தால்,

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{R_1}{R_2}$$

**3·37 : பரிசோதனைகள்-வில்லையின் குவியத் தூரத்தைக் காணல்:**

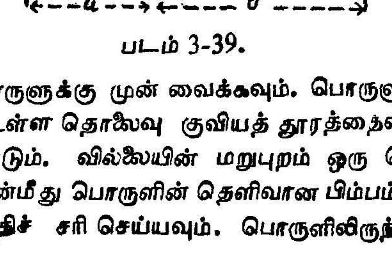
1. குவிவில்லை ஒன்றின் குவியத்தூரம் காணும் முறை :

(அ) தொலை பொருள் முறை :

வில்லையைச் செங்குத்தான தாங்கி ஒன்றில் பொருத்தி, தொலைவிலுள்ள மரம் அல்லது கட்டிடம் போன்ற பொருளை நோக்கித் திருப்பவும். வில்லைக்கு மறுபுறம் ஒரு வெண்திரையை வைத்து, திரையில் பொருளின் தெளிவான பிம்பம் உருவாகும்வரை, திரைக்கும், வில்லைக்கும் இடையே உள்ள தூரத்தைச் சரி செய்யவும். தொலைபொருளிலிருந்து வரும் கதிர்கள் இணைகதிர்களாதலால், அவை வில்லையின் முதன்மைக் குவியத்தில் குவிந்து, பொருளின் பிம்பத்தை உருவாக்கும். எனவே, திரைக்கும் வில்லைக்கும் உள்ள தூரம் குவியத் தூரமாகும்.

(ஆ) $u$-$v$ முறை :

இச் சோதனையில் ஒளியூட்டப்பட்ட கம்பிவலைத் துண்டு ஒன்று பொருளாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. தாங்கியில் பொருத்தப்பட்ட




படம் 3-39.

வில்லையைப் பொருளுக்கு முன் வைக்கவும். பொருளுக்கும் வில்லைக்கும் இடையே உள்ள தொலைவு குவியத் தூரத்தைவிட மிகுதியாக இருத்தல் வேண்டும். வில்லையின் மறுபுறம் ஒரு வெண்திரையை வைத்து, திரையின்மீது பொருளின் தெளிவான பிம்பம் உருவாகுமாறு திரையை நகர்த்திச் சரி செய்யவும். பொருளிலிருந்து வில்லையின்

தொலைவு $u$ எனவும், பிம்பத்தின் தொலைவு $v$ எனவும், கொண்டு அவற்றை அளவிடவும்.

பின்னர், $\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$ அல்லது

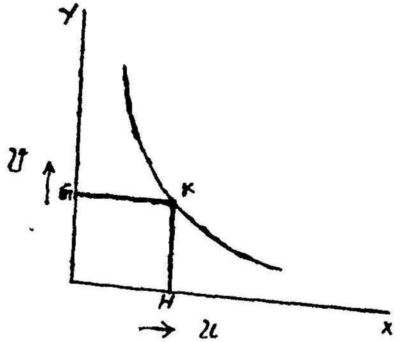
$$f=\frac{uv}{u+v}$$

எனவே, $f$ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

அளவீடுகளைப் பின்வருமாறு அட்டவணைப் படுத்தலாம்.

| பரிசோதனை எண் | $u$ | $v$ | $\frac{1}{u}$ | $\frac{1}{v}$ | $f=\frac{uv}{u+v}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

(இ) வரைபட முறை: $x$ அச்சில் $u$ வையும் $y$ அச்சில் $v$ யையும் எடுத்துக்கொண்டு மேற்கண்ட சோதனையிலுள்ள $u, v$

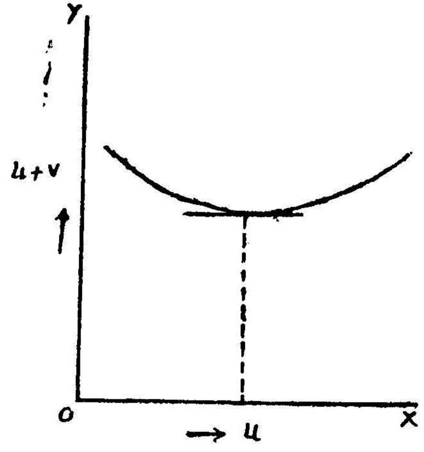



படம் 3·40

இவற்றின் மதிப்புகளைக் கொண்டு ஒரு வரைபடம் வரையவும். இரு அச்சுகளின் அளவுத் திட்டங்களும், தொடக்கமும் ஒன்றாக

இருக்கவேண்டும் (படம் 3·40). பின்னர் அச்சுகளுக்கு 45° கோணத்தில் சாய்வாக ஒரு கோடு வரையவும். இது வரை படத்தை K என்ற புள்ளியில் வெட்டுமாயின் K-யில் $u$, $v$ யின் மதிப்பு சமமாக இருக்கும். எனவே, $u=v=2f$ ஆகையால் $f$-ன் மதிப்பைக் காணலாம்.

$u$ வை X அச்சிலும் $u+v$ யை Y அச்சிலும் எடுத்துக்கொண்டு மற்றொரு வரைபடம் வரையவும். வரை படத்தின் மிகக் குறைந்த அளவு P என்ற புள்ளியின் மதிப்பாகும் (படம் 3·41). $u+v$யின் இந்தச் சிறும மதிப்பு அந்த வில்லையின் குவியத் தூரத்தைப்போல் 4 மடங்கு இருப்பதைக் காணலாம்.




படம் 3·41

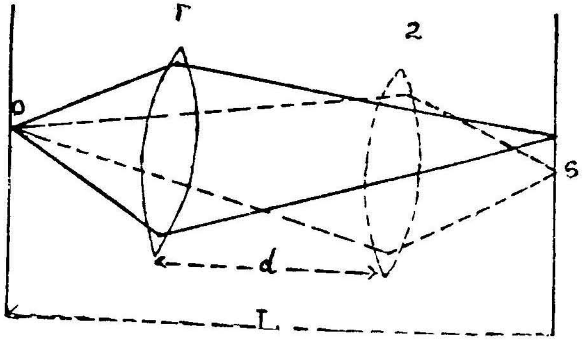
(ஈ) பரிமாற்றுக் குவிய முறை : (Conjucate focii method) பரிசோதனை 1-ல் கண்டவாறு, கொடுக்கப்பட்ட வில்லையின் குவியத் தூரத்தைத் தோராயமாகத் தெரிந்து கொள்ளவும். பிறகு பொருளையும், வெண்திரையையும், நேர்எதிராக வைத்து, அதற்கிடையே உள்ள தொலைவை $4f$-க்கும் மேலே சற்றே அதிகமாகக் கொள்ளவும். அவற்றிற்கிடையே தாங்கியில் பொருத்தப்பட்ட ஒரு குவி வில்லையை வைத்து, பொருளையோ, அல்லது திரையையோ நகர்த்தாமல் வில்லையைமட்டும் நகர்த்தி, எந்த ஓர் இடத்தில் வில்லையை வைத்தால், பொருளின் பிம்பம் தெளிவாகத் தெரிகிறதோ அவ்விடத்தைக் குறித்து வைத்துக்கொள்ளவும். மீண்டும் வில்லையைத் திரையை நோக்கி நகர்த்தி, வில்லையின் பிறிதோர் இடத்தில் திரையில் தெளிவான பிம்பம், கிடைக்குமாறு வில்லையைச் சரிசெய்து, அந்த இடத்தையும் குறித்துக்கொள்ளவும். வில்லை

அமையும் இவ் விரு இடங்களுக்குமிடையே உள்ள தொலைவு Dஆக இருக்கப்படும். பொருளுக்கும் திரைக்கும் இடையே உள்ள தொலைவு L ஆனால், வில்லையின் குவியத் தூரம்

$$f = \frac{-}{4l}$$

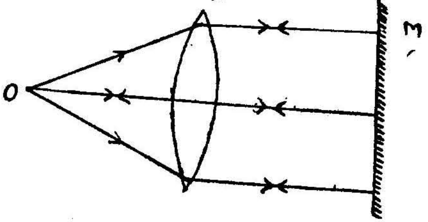
எனவே, $f$-ன் மதிப்பைக் கண்டுகொள்ளலாம். $l$-ன் மதிப்பை மாற்றி இந்தச் சோதனையை மீண்டும் சிலமுறை செய்து $f$-ன் சராசரி மதிப்பைக் காணலாம்.

(உ) சமதள ஆடி முறை: ஒளியூட்டப்பட்ட கம்பி வலைத் துண்டு ஒன்றைப் பொருளாக வைத்து அதற்குமுன் ஒரு தாங்கியில் பொருத்தப்பட்ட வில்லையை வைக்கவும். வில்லையின் மறுபுறம் ஒரு சமதள ஆடியைச் செங்குத்தாக வைக்கவும். பொருளுக்கு




படம் 3·42

அருகிலேயே அதன் பிம்பம் விழுமாறு, பொருளுக்கும் வில்லைக்கும் இடையே உள்ள தொலைவைச் சரிசெய்யவும் (படம் 3·43).




படம் 3·43

பிம்பம், ஏறத்தாழப் பொருளின் மேலேயே உருவாவதால், பொருளிலிருந்து புறப்படும் ஒளிக்கதிர்கள், வில்லைவழியாகச் சமதள ஆடியில் விழுந்து, எதிரொளிக்கப்பட்டபின் வந்தவழியே செல்கின்றன. எனவே, அவை ஆடியில் நேர்குத்தாக விழ

வேண்டும். அதாவது பொருளிலிருந்து செல்லும் கதிர்கள், வில்லை வழி சென்றபின் இணை கதிர்களாகச் செல்கின்றன. எனவே, பொருள் வில்லையின் குவியத் தூரத்தில்தான் இருத்தல்வேண்டும். ஆகையால், பொருளுக்கும் வில்லைக்குமிடையே உள்ள தொலைவு வில்லையின் குவியத் தூரமாகும்.

(ஊ) குவியத் தூரம் மிகுந்த வில்லையின் குவியத் தூரத்தைக் காணல்: ஒரு வில்லையின் குவியத் தூரம் மிகவும் அதிகமாக இருந்தால், முன் கூறப்பட்ட முறைகளினுல், அதன் குவியத் தூரத்தைக் காண இயலாது. எனவே, மற்றொரு மெல்லிய வில்லை ஒன்று துணையாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. குறைந்த குவியத் தூரத்தை உடைய மெல்லிய துணைவில்லை ஒன்றை எடுத்துக் கொண்டு அதன் குவியத்தூரத்தை ($f_1$) மேற்கூறிய முறைகளில் ஏதாவது ஒன்றினைப் பயன்படுத்திக் கண்டுகொள்வோம். பிறகு கொடுக்கப்பட்ட வில்லையை இந்தத் துணைவில்லையுடன் ஒட்டி இணைத்து, அந்தக் கூட்டமைப்பின் குவியத் தூரம் $f$-ஐக் காணலாம்.

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$$ என்ற சமன்பாட்டைப்

பயன்படுத்தி அளவுமிகு குவியத் தூரம் உடைய வில்லையின் குவியத் தூரத்தைக்($f_2$) காணலாம்.

2. குழி வில்லையின் குவியத் தூரத்தைக் காணல்: (அ) கொடுக்கப்பட்ட குழிவில்லையுடன் சிறிய குவியத் தூரம் ($f_1$) உடைய ஒரு குவி வில்லையை ஒட்டி அந்தக் கூட்டமைப்பின் குவியத் தூரத்தை (F), $u_1-v$ முறைப்படி கண்டு கொள்ளலாம். கொடுக்கப்பட்ட குழி வில்லையின் குவியத் தூரம் $f_2$ என்ருல்,

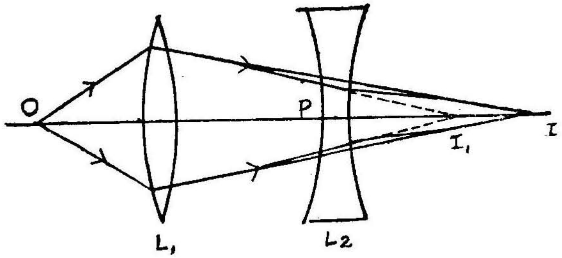
$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$$

இதிலிருந்து $f_2$வைக் கணக்கிட்டுக்கொள்ளலாம்.

(ஆ) ஒளியூட்டப்பட்ட கம்பிவலைத் துண்டு ஒன்றை, பொருளாக வைத்து, அதன்முன் ஒரு குவி வில்லையை ($L_1$) வைத்துக் கொள்ளவும். அது $I_1$ என்ற இடத்தில் ஒரு மெய் பிம்பத்தை உருவாக்குகிறது. இப்பொழுது கொடுக்கப்பட்ட குழி வில்லையை இந்தப் பிம்பத்திற்கும், குவிவில்லைக்கும் இடையே வைத்தால், அது ஒளிக்கற்றைகளை விரித்து, I என்னுமிடத்தில் மெய் பிம்பம் விழுமாறு செய்கின்றது (படம் 3·44). குழிவில்லைக்கு $I_1$ ஒரு மாயப்பொருளாகப் பயன்படுகிறது. அந்த மாயப்பொருளின் மெய்பிம்பம் I-ல் விழுகிறது. படம் 3·44-ன்படி, $PI_1=-u$, $PI=v$

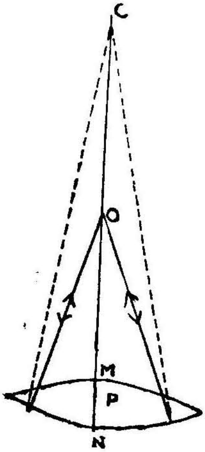
$$\therefore \quad \frac{1}{v}+\frac{1}{-u}=\frac{1}{f}$$

இதிலிருந்து $f$ ஐக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.




படம் 3·44

**3.** ஒரு குவி வளைபரப்பின் வளைவு ஆரத்தைக் காணல்-பாயிஸ் முறை (Boys method): கொடுக்கப்பட்ட குவி வளை பரப்பை, ஒரு பாதரச தளத்தின்மேல் மிதக்கவிடவும். O என்ற ஒரு குண்டூசியை அதற்கு நேர் செங்குத்தாக, ஒரு தாங்கியில் பொருத்தி, நிறுத்தவும் (படம் 3·45). அதன் பிறகு எந்த ஓர் இடத்தில் குண்டூசியை வைக்கும்பொழுது, குண்டூசிக்கும் N என்ற கீழ்ப்பரப்பினுல் எதிரொளிக்கப்பட்ட குண்டூசியின் பிம்பத்திற்கும் இடையே இடமாறு தோற்றப் பிழை இல்லையோ, அந்த இடத்தில் குண்டூசியை நிறுத்திக்கொள்ளவும்.




படம் 3·45

இந்த இடத்தில் தோற்றப் பிழை இல்லாததால் Oவின் பிம்பம் அதே இடத்தில் அமைகிறது. எனவே O-விலிருந்து புறப்படும் ஒளிக்கற்றைகள் M என்ற மேல்வளை பரப்பை அடைந்து, அங்கு ஒளி விலக்கம் நிகழ்ந்த பிறகு N என்ற வளைபரப்பில் நேர்க்குத்தாக விழுகிறது. படம் 3·45-ல் N விருந்து எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளிக்கதிர்களை நேராக நீட்டினுல் அவை C-யில் சந்திக்கும். எனவே, C தான் வளைவு மையமாகும்.

POவின் அளவு $u$ என இருக்கட்டும்.

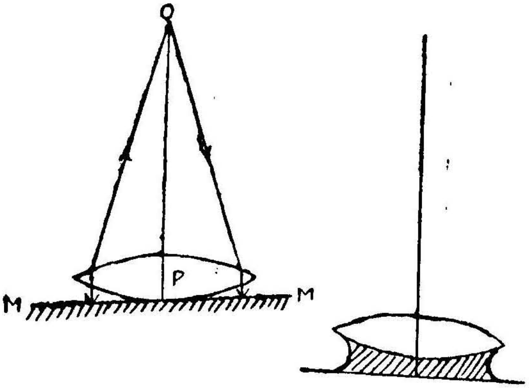
PC=R=$-v$ (Cயில் தோன்றுவது மாயபிம்பம். ஆகையால் $v$க்கு எதிர்க் குறியிடுகிறோம்).

$$\therefore \quad \frac{1}{u}+\frac{1}{-v}=\frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{u} - \frac{1}{R} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad R = \frac{uf}{f-u}$$

4. திரவ வில்லை அமைப்புமுறையில் ஒரு திரவத்தின் விலகெண்ணைக் காணல் : இரு பக்கங்களும், சம வளைவு ஆரமுடைய குவிவில்லை ஒன்றை ஒரு சமதள ஆடியின்மேல் வைத்து, அவை இரண்டையும், மேசையின்மேல், கிடைதளத்திற்கு இணையாக வைத்துக்கொள்வோம் (படம் 3·46). ஓர் ஒளி யூட்டப் பட்ட கம்பி வலைத்துண்டு ஒன்றைப் பொருளாகக் கொண்டு அதைத் தாங்கி ஒன்றில் நேராகப் பொருத்திக்கொள்வோம் பின்னர், வில்லைக்கும் பொருளுக்கும் இடையே உள்ள தொலைவைச் சரிசெய்து எந்த ஓர் இடத்தில் பொருளின் பிம்பம், பொருளின் அருகிலேயே தெளிவாக விழுகிறதோ, அங்குப் பொருளுக்கும், வில்லைக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவைக் கண்டுகொள்ளவும். இந்தத் தொலைவுதான் கொடுக்கப்பட்ட குவி வில்லையின் குவியத் தூரமாகும். (3·87 ; 1·2-ஐப் பார்க்கவும்).




படம் 3·46

இப்பொழுது அந்தக் குவி வில்லைக்கும், சமதள ஆடிக்கும் இடையே, கொடுக்கப்பட்ட திரவத்தில் சில துளிகள் ஊற்றவும். இந்த திரவத்தின் மேற்புறம் குவிவில்லையின் அடிப்பக்கத்தோடு ஒன்றிவிடுவதால் இதன் மேற்புறம் ஒரு குழிவளைபரப்பாக அமையும். திரவம் சமதள ஆடியின்மேல் இருப்பதால், திரவத்தின் மற்றொரு பக்கம், சமதள பரப்பாக அமையும். எனவே, இந்தத் திரவ வில்லை, ஒரு சமதளக் குழிவில்லையாக அமைகிறது.

இந்தத் திரவவில்லையும், கொடுக்கப்பட்ட குவிவில்லையும், சேர்ந்த கூட்ட மைப்பின்குவியத்தூரத்தை, முன்கூறியபடியே கண்டு கொள்ளமுடியும். கொடுக்கப்பட்ட குவிவில்லை, திரவவில்லை, இவ் விரு வில்லைகளின் கூட்டமைப்பு, ஆகியவைகளின் குவிய தூரங்கள் முறையே, $f_1$, $f_2$, F என்றால்,

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$$

இதிலிருந்து $f_2$வைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். பிறகு குவி வில்லையின் வளைவு ஆரத்தை (R) பாயிஸ் முறைப்படி கண்டு கொள் ளலாம் (3·37) ; 3-ஐப் பார்க்கவும்).

ஒரு வில்லையின் குவியத் தூரம், அதன் விலகெண், அதன் வளைபரப்புகள் ஒன்றிற்கொன்று பின்கண்டவாறு சார்புடையது என அறிவோம்.

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

பரிசோதனையில் அமைந்த திரவவில்லையின் ஒருபக்கம் சமதளம் ஆகையால்,

$$\frac{1}{f_2}=\frac{(\mu-1)}{R}$$

$$\therefore\quad \mu=1+\frac{R}{f_2}$$

மேற்கண்ட சோதனைகளைப் பின்கண்ட முறைப்படி அட்ட வணைப் படுத்திக் கொள்ளலாம்.

கண்ணாடி வில்லையின் குவியத் தூரம்

(a)

| சோதனை எண் | பொருள், குவிவில்லை யின் மேல் பரப்பி லிருந்து அமையும் தூரம் | பொருள் குவி வில்லையின் கீழ்ப் பரப்பிலிருந்து அமையும் தூரம் | சராசரி $f_1$ |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |

சராசரி $f_1$

(b) கண்ணாடி வில்லை, திரவ வில்லை இவற்றின் கூட்டமைப்பின் குவியத் தூரத்தைக் காணல்.

| சோதனை எண் | பொருள் குவி வில்லையின் மேல் புறத்திலிருந்து அமையும் தூரம் | பொருள் குவிவில்லையின் கீழ்ப் புறத்திலிருந்து அமையும் தூரம் | சராசரி F |
|---|---|---|---|
| | | | |

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

$$\therefore \quad \frac{Ff_1}{F-f_1} = f_2$$

(C) கண்ணாடி வில்லையின் வளைவு ஆரம் (R) காணல் (பாயில்ஸ் முறை):

| சோதனை எண் | பொருள், திரையில் தெளிவாக விழும் தொலைவு (வில்லையின் முன் புறத்திலிருந்து) | பொருள், திரையில் தெளிவாக விழும் தொலைவு (வில்லையின் பின்புறத்திலிருந்து) | $u$ |
|---|---|---|---|
| | | | |

$$R = \frac{f_1 u}{f_1 - u}$$

$$\therefore \quad \mu = 1 + \frac{R}{f_2}$$

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. தண்ணீரினுள் இருக்கும் ஒரு மீன் எந்தத் திசையில் பார்த்தால் உதய சூரியனைப் பார்க்க முடியும் ?) தண்ணீரின் விலகு எண் 1·33)

விடை

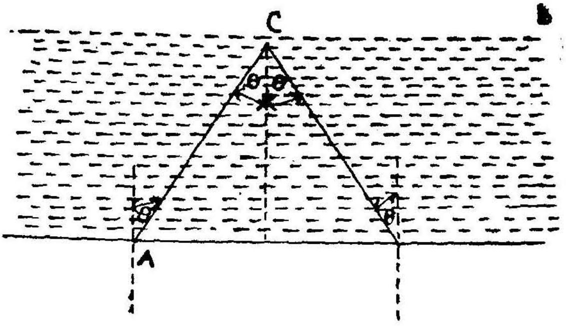
A என்னும் இடத்திலுள்ள ஒரு மீன் தண்ணீரின் தளத்திற்கிணையாக வரும் CB என்ற ஒளிக்கதிரைப் பார்க்கவேண்டும் என வைத்துக்கொள்வோம். தண்ணீரின் மாறுநிலைக் கோணம் $\theta$ வானால்,

$$_{கா}\mu_{த} = \frac{1}{\sin \theta}$$

$$\therefore \sin \theta = \frac{1}{_{கா}\mu_{த}} = \frac{1}{1 \cdot 33}$$

$$= 0 \cdot 7518$$

$$\therefore \quad \theta = 48°45'$$




படம் 3·47

எனவே, மீன் தன் இருப்பிடத்திலிருந்து 48°45′ பாகை அளவு செங்குத்துக்கோட்டிலிருந்து தள்ளி அமையும் கோணத்தில் பார்த்தால் உதய சூரியனைப் பார்க்க முடியும்.

2. கண்ணாடியிலிருந்து தண்ணீருக்குள் ஊடுருவும் ஒரு படுகதிர், எந்தப் படுகோணத்தில் சென்றால் விலகு கதிர் தவழ்நிலையில்

செல்லும் ? (தண்ணீரின் விலகெண் $\frac{4}{3}$, கண்ணாடியின் விலகெண் $\frac{3}{2}$. )

விடை

$\mu \sin \theta$ என்பது ஒரு மாறுத எண் என்னும் கோட்பாட்டைப் பயன்படுத்தலாம்:

$$_{கா}\mu_{க}. \sin \theta = {}_{கா}\mu_{த}. \sin 90$$

$$\frac{3}{2} \sin \theta = \frac{4}{3}$$

$$\therefore \sin \theta = \frac{\;}{9}$$

$$\therefore \theta = 64^\circ 18'$$

3. ஓர் ஆழமான கண்ணாடித் தொட்டியின் அடியில் ஒரு குண்டூசி உள்ளது. அந்தக் குண்டூசியின்மேல் 8 செ.மீ. தடிப்புள்ள ஒரு கண்ணாடிப் பட்டகம் வைக்கப்பட்டுள்ளது. அதற்கும்மேல் 5 செ.மீ. உயரத்திற்கு ஒரு திரவம் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. இந்தத் திரவத்தின்மேல் 4 செ.மீ. உயரம் தண்ணீர் நிரப்பப்பட்டிருக்கிறது. இந்தத் தொட்டியின் மேலிருந்து நேர்குத்தாகப் பார்க்கும் இடத்து அந்தக் குண்டூசியின் தோற்றத் தொலைவு என்ன? (கண்ணாடியின் ஒளி விலகு எண் 1·6. திரவத்தின் ஒளி விலகெண் 1·5. தண்ணீரின் ஒளி விலகு எண் $\frac{4}{3}$ ).

விடை

$\frac{\text{மெய்த் தொலைவு}}{\text{தோற்றத் தொலைவு}} = \mu$ ஆதலால் காற்றைப் பொறுத்து விலகல் எண் $\mu$ உடைய ஓர் ஊடகத்தினுள் வைக்கப்படும் ஒரு பொருளின் தோற்றத் தொலைவு, $\frac{(\text{மெய்த்தொலைவு})}{\mu}$ ஆக இருக்கும்.

எனவே,

$$\text{குண்டூசியின் தோற்றத் தொலைவு} =$$

$$\frac{\text{தண்ணீரில் மெய்த்தொலைவு}}{\mu_{த}} + \frac{\text{திரவத்தின் மெய்த்தொலைவு}}{\mu_{தி}} + \frac{\text{கண்ணாடியின் மெய்த்தொலைவு}}{\mu_{க}}$$

$$= 4 \times \frac{3}{4} + \frac{5}{1 \cdot 5} + \frac{8}{1 \cdot 6} - 11\frac{1}{3} = 11 \cdot 33$$

ஆகவே, தண்ணீரின் மேல்மட்டத்திலிருந்து 11·33 செ. மீ.-ல் இருப்பதுபோல் தோன்றும்.

4. 2·47 விலகு எண் உள்ள வைரத்திலிருந்து 1·51 விலகு எண் உள்ள கண்ணுடிக்குச் செல்லும் ஒளிக்கதிரின் மாறுநிலைக் கோணம் எவ்வளவு?

$$\mu_{\text{வைரம்}} \cdot \sin\theta = \mu_{\text{கண்ணுடி}} \sin 90$$

$$\sin\theta = \frac{\mu_{\text{க}}}{\mu_{\text{வை}}}$$

$$= \frac{1 \cdot 51}{2 \cdot 47} = 0 \cdot 6113$$

$$\therefore \theta = 37^\circ 42'$$

5. ஒரு முப்பட்டகக் கண்ணுடியின்வழியே ஊடுருவும் ஒரு படுகதிர், இரண்டாவது சமதளப் பரப்பில் தவழ் நிலை விடுகதிராக வெளிவருகிறது என்ருல் படுகதிரின் படுகோணம் என்ன? (முப்பட்டகத்தின் ஒளிவிலக்குக் கோணம் 60°)

விடை

முதல் பரப்பில் படுகோணம் $i_1$ எனவும் விலகுகோணம் $r_1$ எனவும் இருக்கட்டும். இரண்டாவது பரப்பில் விடுகதிர் தவழ்நிலையில் செல்வதால் இதற்கான விலகுகோணமாகிய $r_2$ ஒரு மாறுநிலைக் கோணமாக அமைதல் வேண்டும்.

$$\sin r_2 = \frac{1}{\mu} = 1 \cdot 6$$

$$= 0 \cdot 6250$$

$$\therefore r_2 = 38^\circ 41'$$

$$r_1 + r_2 = A$$

எனவே,

$$r_1 = 60^\circ - 38^\circ 41' = 21^\circ 19'$$

$$\frac{\sin i_1}{\sin r_1} = 1 \cdot 6$$

$$\therefore \sin_1 = 1 \cdot 6 \times \sin r_1$$

$$= 1 \cdot 6 \times \sin 21^\circ 19'$$

$$= 0 \cdot 5816$$

$$\therefore i_1 = 35^\circ 35'$$

6. ஒரு முப்பட்டகம், காற்றில் வைக்கப்பட்டுள்ளபொழுது, அதன் சிறும திசைமாற்றக் கோணம் 48° ஆகும்; திரவத்தில் வைக்கப்படும்பொழுது அதன் சிறும திசைமாற்றக் கோணம் 12° ஆகவும் அமையும் என்றால் திரவத்தின் விலகெண்ணைக் காண்.

முப்பட்டகத்தின் விலக்குக் கோணம் 60°

விடை

$$_{கா}\mu_{க} = \frac{\sin\frac{(60+48)}{2}}{\sin\frac{60}{2}}, \quad _{தி}\mu_{க} = \frac{\sin\frac{(60+12)}{2}}{\sin\frac{60}{2}}$$

ஆனால், $_{தி}\mu_{க} = \dfrac{_{கா}\mu_{க}}{_{கா}\mu_{தி}}$

$$_{கா}\mu_{தி} = \frac{_{கா}\mu_{க}}{_{தி}\mu_{க}} = \frac{\sin\left(\frac{60+48}{2}\right)}{\sin\left(\frac{60+12}{2}\right)} = \frac{\sin 54}{\sin 36} = 1{\cdot}377$$

$$\therefore \quad _{கா}\mu_{தி} = 1{\cdot}377$$

7. ஒரு முப்பட்டகத்தின் மூன்று கோணங்கள் 30°, 60°, 90° மிகக் குறைந்த பரப்புள்ள விலகு பரப்பில் நேர்குத்தாக ஊடுருவும் ஒரு கதிர் எத்தனை முழு அக எதிரொலிப்புகளுக்குப்பின் நடைபெறுகின்றன? விடுகோணத்தின் அளவு எண் என்ன? ($\mu_{க} = 1{\cdot}55$)

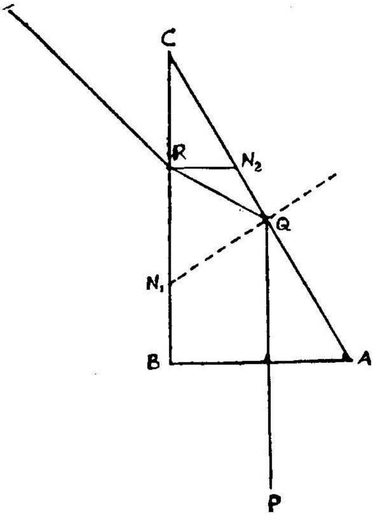
விடை

படம் 3-48-ல் PQ என்னும் கதிர் AB என்னும் பரப்பின் குத்துக் கோட்டின்வழியாக முப்பட்டகத்தில் ஊடுருவி, AC என்ற தளத்தில் Q என்ற படுகைப் புள்ளியை அடைகிறது. ACக்கு $QN_1$ என்ற குத்துக்கோடு வரைந்தால் $P\hat{Q}N_1 = 60°$ ஆகும்.

$$\left.\begin{array}{c}\text{முப்பட்டகக் கண்ணாடியின்}\\ \text{மாறுநிலைக் கோணம் C}\end{array}\right\} = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1{\cdot}55}\right) = 40°\ 18'$$

AC என்ற சமதளப் பரப்பில் PQ என்ற கதிர் மாறுநிலைக் கோணத்தைவிட அதிகக் கோணத்தில் விழுவதால் அந்தக் கதிர்

முழு அக எதிரொளிப்புமூலம் எதிரொளிக்கப்பட்டு $N_1\widehat{Q}R = 60°$ ஆக இருக்குமாறு QR என்ற திசையில் BC என்னும் பரப்பை




படம் 3·48

R-ல், தொடுகின்றது. $RN_2$ என்பது R-ல் வரையப்பட்ட குத்துக் கோடாகும்.

$$R\widehat{N_2}C = 60°$$

$$\therefore \quad Q\widehat{N_2}R = 120°$$

மற்றும்,

$$N_1\widehat{Q}R = 60°$$

எனவே,

$$Q\widehat{R}N_2 = 30°$$

QR என்ற கதிரின் படுகோணம் மாறுநிலைக் கோணத்தைவிடச் சிறியதாக இருப்பதால் BRC என்னும் பிரிதளத்தில் விலகல் ஏற்படும். எனவே, ஒரே ஒரு முழு அக எதிரொளிப்புத்தான் நடைபெறுகிறது.

$$R\text{-ல்} \frac{\sin\theta}{\sin 30} = 1{\cdot}55$$

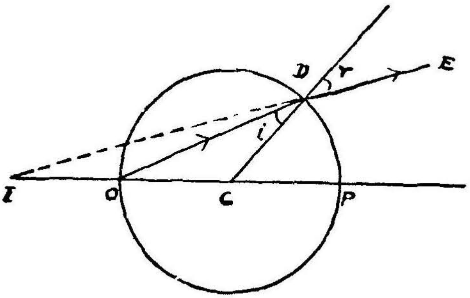
$$\therefore \quad \sin\theta = \sin 30 \times 1{\cdot}55 = 0{\cdot}775$$

$$\therefore \quad \theta = 50° \, 45'$$

8. 10 செ. மீ. விட்டமுள்ள கண்ணாடிக் கோளத்தின் மேல் பரப்பில், ஒரு புள்ளிப்பொருள் அமைந்துள்ளது. அந்தக் கோளத்தின் எதிர்ப்புறத்திலிருந்து கண்ணாடிவழியே பார்த்தால் அதன் பிம்பம் எவ்விடத்தில் அமையும்? $\mu_{க} = 1{\cdot}5$

விடை

O என்ற ஒரு புள்ளிப்பொருள் C-யை மையமாகக் கொண்ட 10 செ. மீ. விட்டமுள்ள கோளத்தின் மேற்பரப்பில் அமையட்டும். (படம் 3·49) O-விலிருந்து சற்றே சாய்படுகையாகச் செல்லும் OD என்னும் கதிர் D என்ற படுகைப்புள்ளியில் விலகி DE என்ற திசையில் செல்கிறது. DE யைப் பின்னுக்கு நீட்டினால், அது OCP என்ற முதன்மை அச்சை I-ல் தொடுகிறது. எனவே, E-யிலிருந்து பார்க்கும்பொழுது, அந்தப் புள்ளி I-ல் இருப்பதுபோல் தோன்றும்.




படம் 3·49

ஒளிவிலகல் ஏற்படும் தானம் D அமையும் கோளப்பரப்பில் ஒளி மையம் P ஆகும். பொருள் ஒளிமையத்திலிருந்து அமைந்துள்ள தூரம், $u = OP = 10$ செ. மீ.

$\mu = 1{\cdot}5$, R = 5 செ. மீ.

$$\frac{\mu_2 - \mu_1}{R} = \frac{\mu_2}{u} + \frac{\mu_1}{v}$$

$$\frac{\cdot 5}{5} = \frac{1}{v} + \frac{1{\cdot}5}{10}$$

$\therefore \quad v = -20$ செ. மீ.

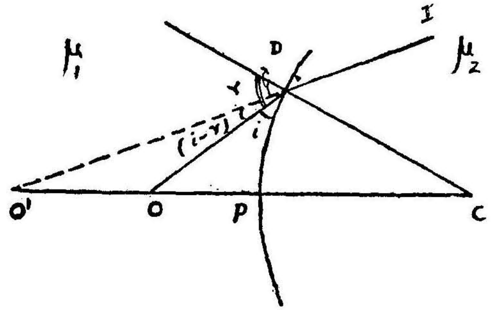
உருவாகும் பிம்பம் மாயபிம்பம் எதிர்க்குறி அறிவுறுத்துகிறது. எனவே, ஒரு மாயபிம்பம் Dயிலிருந்து 20 செ. மீ. தொலைவில் உருவாகும்.

9. 24 செ. மீ. வளைவு ஆரமுள்ள ஒரு குவிந்த வளைபரப்பு முறையே 1·3, 1·6 உள்ள இரு ஊடகங்களைப் பிரிக்கிறது. ஒரு

பொருள் முதல் ஊடகத்தில் கோளப்பரப்பில் முன் 48 செ. மீ. தொலைவில் இருந்தால், பிம்பத்தின் நிலை இயல்பு இவைகளைக் காண்.

விடை

O என்பது புள்ளிப்பொருள் $OP = u = 48$ செ. மீ.




படம் 3·50

$$\mu_1 = 1{\cdot}30$$
$$\mu_2 = 1{\cdot}60$$
$$\therefore \quad \frac{\mu_1}{u} + \frac{\mu_2}{v} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$$
$$\therefore \quad \frac{1{\cdot}3}{48} + \frac{1{\cdot}6}{v} = \frac{{\cdot}3}{24}$$
$$\frac{1{\cdot}6}{v} = \frac{{\cdot}3}{24} - \frac{1{\cdot}3}{48}$$
$$= \frac{-0{\cdot}7}{48}$$
$$\therefore \quad v = \frac{-48 \times 1{\cdot}6}{0{\cdot}7}$$
$$= -109{\cdot}7 \text{ செ. மீ.}$$

கோளப்பரப்பிலிருந்து 109·7 செ. மீ. தொலைவில், ஒரு மாயபிம்பம் உருவாகும்.

10. ஒரு கண்ணாடிக் குவி வில்லையின் வளைவு ஆரங்கள் 30 செ. மீ. 45 செ. மீ. ஆகும். அந்த வில்லை காற்றில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் பொழுது, அதன் குவியத்தூரம் என்ன? அதே வில்லையை, 4/3 விலகெண் உடைய ஓர் ஊடகத்தினுள் வைத்தால் அதன் குவியத் தூரம் என்ன? (கண்ணாடியின் விலகெண் 1·5)

விடை

(a) வில்லை காற்றில் வைக்கப்படும்பொழுது,

$R_1 = 30$ செ. மீ.

$R_2 = 45$ செ. மீ.

$\mu_2 = 1{\cdot}5$

$\mu_1 = 1$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{\mu_2}{\mu_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{f} = (1{\cdot}5 - 1)\left(\frac{1}{30} + \frac{1}{45}\right)$$

$$= \frac{1}{36}$$

$\therefore\ f = 36$ செ. மீ.

(b) ஊடகத்தில் வைக்கும்பொழுது :

$\mu_2 = \frac{3}{2}$

$\mu_1 = \frac{4}{3}$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{3}{2} \times \frac{3}{4} - 1\right)\left(\frac{1}{30} + \frac{1}{45}\right)$$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{9}{8} - 1\right)\left(\frac{5}{90}\right)$$

$$= \frac{1}{144}$$

$\therefore\ f = 144$ செ. மீ.

11. காற்றைப் பொறுத்துக் கண்ணாடியின் விலகெண் 3/2ம், காற்றைப்பொறுத்து, தண்ணீரின் விலகு எண் 4/3ம் ஆனால், ஒரு கண்ணாடி வில்லை முறையே, தண்ணீரிலும் காற்றிலும் வைக்கப் பட்டால், அந்த வில்லையின் குவியங்கள், எவ்வளவு மடங்கு வேறுபடும் ?

விடை

முறையே தண்ணீரிலும், காற்றிலும் வைக்கப்பட்ட ஒரு வில்லையின் குவியத் தூரங்கள் $f_1$, $f_2$ ஆக இருக்கட்டும். அந்த வில்லையின் வளைவு ஆரங்கள் $R_1$, $R_2$ என இருக்கட்டும்.

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{\mu_2}{\mu_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

என்பது பொதுச்சமன்பாடு.

$$\frac{1}{f_1} = \left({}_{\text{த}}\mu_{\text{க}} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{f_2} = \left({}_{\text{கா}}\mu_{\text{க}} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\therefore \quad \frac{f_1}{f_2} = \frac{\left({}_{\text{கா}}\mu_{\text{க}} - 1\right)}{\left({}_{\text{த}}\mu_{\text{க}} - 1\right)}$$

$${}_{\text{த}}\mu_{\text{க}} = \frac{{}_{\text{கா}}\mu_{\text{க}}}{{}_{\text{கா}}\mu_{\text{த}}} = \frac{3}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{8}$$

$$\therefore \quad \frac{f_1}{f_2} = \frac{3/2 - 1}{9/8 - 1} = \frac{8}{2} = 4$$

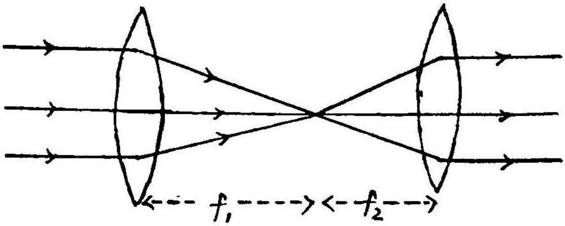
$$\therefore \quad \frac{f_1}{f_2} = 4$$

இரண்டு குவியத்தூரங்களுக்கான தகவு 1:4 ஆக அமையும்.

12. இரு குவி வில்லைகளை ஒரு தொலைநோக்கியாக அமைக்க வேண்டுமாயின் அவ் விரு வில்லைகளுக்கிடையே என்ன தொலைவு இருக்கவேண்டும்.

விடை

ஒரு தொலைநோக்கியில் முடிவில்லாத் தொலைவில் உள்ள பொருள் இரு வில்லைகளிலும் விழுந்த பிறகு அதன் பிம்பம் முடிவில்லாத் தொலைவில் அமையும் (படம் 4·28) எனவே,




படம் 3·51

$$\frac{1}{F} = \frac{}{\infty} + \frac{1}{\infty} = 0$$

இரு வில்லைகளுக்கும் இடையே உள்ள தொலைவு $d$ என்றால்,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

$$O=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}-\frac{d}{f_1 f_2}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}=\frac{d}{f_1 f_2}$$

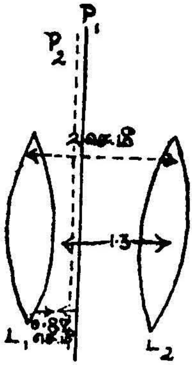
$$\frac{f_1+f_2}{f_1 f_2}=\frac{d}{f_1 f_2}$$

$$\therefore \quad f_1+f_2=d$$

இரு வில்லைகளுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு அந்த இரு வில்லைகளின் குவியத்தூரத்திற்குச் சமமாக அமைதல் வேண்டும்.

13. குவியத் தூரங்கள் 10 செ. மீ., 15 செ. மீ. உள்ள இரு குவி வில்லைகள், ஒன்றிற்கொன்று 2 செ. மீ. தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ளன. 10 செ. மீ. குவியத் தூரம் உள்ள வில்லைக்குமுன் 12 செ. மீ. தொலைவில் ஒரு பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளது என்றால், இந்த இரு வில்லைகளின் கூட்டமைப்பால் ஏற்படும் முடிவான பிம்பத்தின் நிலை, அதன் நீள் உருபெருக்கம் இவைகளைக் காண். இரு முதன்மைத் தளங்கள் அமையும் இடங்களையும் காண்.

விடை




படம் 3·52

முதல் வில்லையின் குவியத் தூரம்

$(f_1)=10$ செ. மீ.

இரண்டாம் வில்லையின் குவியத் தூரம்

$(f_2)=15$ செ. மீ.

இரு வில்லைகளுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு

$(d)=2$ செ. மீ.

இவைகளின் கூட்டமைப்பின் குவியத் தூரம்

$$(F)=\frac{f_1 f_2}{f_1+f_2-d}$$

$$=\frac{10\times 15}{10+15-2}$$

$$=\frac{150}{23}$$

முதல் வில்லையிலிருந்து முதல் முதன்மைத் தளம் அமையும் இடம்,

$$\alpha=\frac{dF}{f_2}=\frac{2\times 150}{15\times 23}=0{\cdot}87 \text{ செ.மீ.}$$

இரண்டாம் வில்லையிலிருந்து இரண்டாம் முதன்மைத்தளம் அமையும் இடம்,

$$\beta = \frac{dF}{f_1} = \frac{2 \times 150}{10 \times 23} = 1 \cdot 3 \text{ செ. மீ.}$$

படம் (3·52) முதன்மைத்தளங்கள் அமையும் இடங்களை விளக்குகின்றது.

முதல் முதன்மைத்தளத்திலிருந்து பொருளின் தொலைவு, $U = u + \alpha$
$= 12 \cdot 87$

$$\frac{1}{U} + \frac{1}{V} = \frac{1}{F}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{V} = \frac{1}{F} - \frac{1}{U}$$

$$= \frac{23}{150} - \frac{1}{12 \cdot 87}$$

$$\therefore \quad V = \frac{150 \times 12 \cdot 87}{23 \times 12 \cdot 86 - 150}$$

$$= 13 \cdot 2 \text{ செ. மீ.}$$

$$V = v + \beta$$

$$13 \cdot 20 = v + 1 \cdot 3$$

$$\therefore \quad v = 11 \cdot 9 \text{ செ.மீ.}$$

எனவே, முடிவான பிம்பம் இரண்டாம் முதன்மைத்தளத்திலிருந்து 11·9 செ. மீ. தொலைவில் அமையும்.

நீள் உருப்பெருக்கம்

$$m = \frac{V}{U} = \frac{13 \cdot 20}{12 \cdot 87}$$

$$= 1 \cdot 02$$

14. 4 செ. மீ. தடிப்புள்ள ஒரு தடிப்புமிகு குவி வில்லையின் வளைவு ஆரங்கள், 6 செ. மீ., 10 செ. மீ. ஆகும். அந்த வில்லையின் குவியத் தூரம், குவியப்புள்ளிகள், முதன்மைப் புள்ளிகள், இவற்றைக் காண். (வில்லையின் விலகெண் $= 1 \cdot 5$)

விடை

| | |
|---|---|
| முதல் வளைவு ஆரம் ($R_1$) | $= 6$ செ. மீ. |
| இரண்டாம் வளைவு ஆரம் ($R_2$) | $= 10$ செ. மீ. |
| விலலையின் தடிப்பு ($t$) | $= 4$ செ. மீ. |

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1) \left\{ \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{(\mu - 1)\, t}{\mu R_1 R_2} \right\}$$

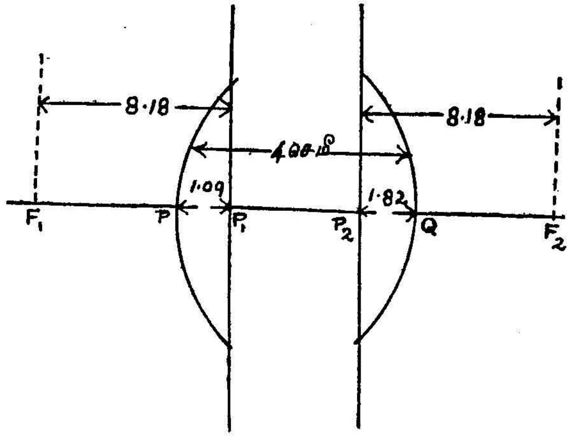
$$= 0 \cdot 5 \left\{ \left( \frac{1}{6} + \frac{1}{10} \right) - \frac{0 \cdot 5 \times 4}{1 \cdot 5 \times 6 \times 10} \right\}$$

$$= \frac{11}{90}$$

$$\therefore \quad f = 8 \cdot 18 \text{ செ. மீ.}$$

$$\alpha = \frac{t\,R_1}{\mu(R_1+R_2)-t\,(\mu-1)} = \frac{4\times 6}{1{\cdot}5\times 16-4\times 0{\cdot}5} = 1{\cdot}09 \text{ செ.மீ.}$$

$$\beta = \frac{tR_2}{\mu(R_1+R_2)-t\,(\mu-1)} = \frac{4\times 10}{1{\cdot}5\times 16-4\times 0{\cdot}5} = 1{\cdot}82 \text{ செ.மீ.}$$




படம் 3·53

படம் (3·53) முதன்மைப் புள்ளிகள் $P_1$, $P_2$ குவியப் புள்ளிகள் $F_1$, $F_2$ இவைகள் அமையும் இடங்களை விளக்குகின்றது.

பயிற்சி

1. முழு அக எதிரொளிப்பு என்றால் என்ன? அது நிகழ்வதற்கான தகுதிகள் யாவை? அதனால் ஏற்படும் விளைவுகள் ஏதேனும் இரண்டைக் கூறுக.

2. சிறும திசை மாற்ற நிலையில் ஒரு முப்பட்டகத்தின் வழியாகச் செல்லும் ஒளிக்கதிர், இரு சமதள பரப்புகளுக்கும், ஒரே அளவு சாய்ந்துள்ள கதிராகச் செல்கிறது என நிரூபி.

3. காற்றுச்சிமிழ் முறையில் ஒரு திரவத்தின் விலகு எண்ணைக் காணும் முறையினை விவரி.

4. 10 செ.மீ. தடிப்புள்ள ஒரு கண்ணாடிப் பட்டகத்தின் அடியில் ஒரு சிறு பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. கண்ணாடிப் பட்டகத்தின் மேல் 5 செ.மீ. உயரம் தண்ணீர் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. கண்ணாடி, தண்ணீர் இவைகளின் ஒளிவிலகல் எண் முறையே 1·5, 1·33 என்றால் மேலிருந்து செங்குத்தாகப் பார்க்கும்பொழுது அந்தப் பொருளின் தோற்றத் தொலைவு என்ன?

5. ஒரு கண்ணாடிப் பாத்திரத்தின் அடியில் உள்ள ஒரு சிறு குண்டூசியை ஒரு நுண்ணோக்கி தெளிவாகப் பார்க்குமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இப்பொழுது பாத்திரத்தில் 8செ.மீ அளவு ஒரு திரவத்தை ஊற்றினால், குண்டூசியைத் தெளிவாகப் பார்க்க நுண்ணோக்கியை 2·5 செ.மீ. மேற்புறம் தூக்க வேண்டியிருந்தால் அந்தத் திரவத்தின் ஒளிவிலகெண்ணைக் காண்.

6. ஒரு கன சதுரத்தின் இடையில் ஒரு காற்றுக்குமிழ் உள்ளது. குமிழைக் கனச்சதுரத்தின் ஒரு பக்கத்திலிருந்து பார்த்தால் அது 6 செ.மீ. தொலைவில் இருப்பதுபோல் தோன்றுகிறது. அதற்கு நேர் எதிர்ப்பக்கத்திலிருந்து பார்த்தால் 4 செ.மீ. தொலைவில் இருப்பதுபோல் தோன்றுகின்றது எனின், காற்றுக் குமிழியின் மெய்த்தொலைவையும் கன சதுர ஊடகத்தின் விலகல் எண்ணையும் காண்.

7. ஒரு முப்படகத்தின் ஒளிவிலக்குக் கோணம் 60′ ஆனால் அதன் சிறும திசைமாற்றக் கோணத்தை கண்டுபிடி ($\mu = \sqrt{2}$)

8. விலகெண் 1·5 உள்ள ஒரு முப்பட்டகத்தின் ஒளிவிலக்குக் கோணம் அதன் சிறும திசை மாற்றக்கோணத்தின் அளவே அமையுமானால் அவ் விரண்டு கோணங்களின் மதிப்பும் சுமார் 83 இருக்குமென நிரூபி.

9. 60 விலக்கு கோணமுடைய ஒரு முப்பட்டகம், காற்றில் வைக்கப்படும்பொழுது 48 சிறும திசைமாற்றக்கோணமும், ஒரு திரவத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும்பொழுது 12 சிறும திசை மாற்றக் கோணமும் கொண்டிருக்குமானால் அந்தத் திரவத்தின் விலகெண்ணைக் கண்டுபிடி.

10. ஓர் உள்ளீடற்ற சமகோண முப்பட்டகத்தினுள் ஒரு திரவத்தை நிரப்பியவுடன் அதன் சிறும திசைமாற்றக் கோணம் 49° 24′ எனின், அந்தத் திரவத்தின் விலகெண் என்ன ? விலகெண் 1·3 உள்ள ஒரு திரவத்திற்குச் சிறும திசை மாற்றக் கோணம் கண்டுபிடி.

11. ஒளி விலகெண் $\sqrt{7 \cdot 3}$ உள்ள ஒரு முப்பட்டகத்தின் ஒலி விலகுக்கோணம் 60° ஆகும். அந்த முப்பட்டகத்தின் ஊடுருவி, மற்றொரு பரப்பின்வழியே விடுபடக்கூடிய, ஒருபடு கதிரின் வரையறை கோணம் என்ன ?

12. 90°, 70° கோணங்கள் உள்ளடக்கப்பட்ட ஒரு முப்பட்டகத்தின் ஒரு சமதளபரப்பில், நேர்குத்தாக ஒரு படுகதிர்

விழுகிறது. அந்த முப்பட்டகத்தின் மாறுநிலைக் கோணம் 42 ஆனால் அந்தக் கதிர் முப்பட்டகத்திலிருந்து வெளி வருவதற்கு முன் இரு முறை எதிரொளிக்கப்படுமென நிரூபி.

13. ஒரு மெல்லிய வில்லைக்கான குவியத் தூரம், அதன் விலகு எண், அதன் வளைவு ஆரம், இவற்றை இணைக்கும் சமன் பாட்டை வழிமுறையோடு காண்.

14. ஒரு மெல்லிய வில்லையினால் உருவாக்கப்பட்ட ஒரு மெய் பிம்பம், பொருளிலிருந்து, குறைந்தது $4f$ தொலைவிலாவது இருக்கும் என நிரூபி.

15. இடைவெளியோடு அமைக்கப்பட்ட இரு வில்லைகளுக் கான இணைமாற்று வில்லையின் குவியத் தூரத்தைக் காணும் முறையை வழியோடு விளக்குக.

16. ஒரு வில்லையின் கார்டினல் புள்ளிகள் என்பன யாவை? அவைகளின் பண்புகளை விளக்குக.

17. $d$ செ.மீ. இடைவெளிவிட்டு அமையப்பெற்ற இரு வில்லை களின் குவியத் தூரங்கள் $f_1, f_2$ ஆனால் அந்த கூட்டமைப் பின், கார்டினல் புள்ளிகளை காணும் முறைகளை விவரி.

18. ஒரு தடிப்பு மிகு வில்லையின்குவியத் தூரம், அதன் முதன் மைப்புள்ளி இவைகளைக் காண்பது எவ்வாறு?

19. 5 செ.மீ. வளைவு ஆரமுடைய ஒரு கண்ணாடிக் கோளத்தி னுள், அதன் மையத்திலிருந்து 2 செ.மீ. தொலைவில் ஒரு காற்று குமிழி உள்ளது. கண்ணாடிப் பரப்பிற்கு வெளியி லிருந்து, அந்தக் குமிழி இருக்கும் பக்கத்திலிருந்தே நோக் கினால் அதன் தோற்றத் தொலைவு என்ன ?

20. ஓர் உள்ளீடற்ற கோளத்திற்குள் தண்ணீர் நிரப்பப்பட் டுள்ளது. அதற்குள் இரு மீன்கள் அந்தக் கோளத்தின் மையத்திலிருந்து 2 செ.மீ. தொலைவில், பக்கத்திற்குஒன்றாக ஒரே நேர்க்கோட்டில் இருக்கின்றன. அந்தக் நேர்க் கோட்டிலேயே கோளத்திற்கு வெளியே இருந்து பார்க்கும் பொழுது அவை இரண்டிற்கும் உள்ள தோற்றத் தொலைவு என்ன ? ($\mu_{த} = 1\cdot3$, கோள ஆரம் $= 20$ செ.மீ.)

21. ஓர் ஒளியூட்டப்பட்ட பொருளுக்கும், திரைக்கும் இடைப் பட்ட தொலைவு 45 செ.மீ. ஒரு குவிவில்லையை அதற் கிடையே வைக்கும்பொழுது இரு இடங்களில் வில்லை அமையும்பொழுது பொருளின் பிம்பம், திரையில் தெளி

வாகத் தெரிகிறது. அவ் விரண்டு இடங்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவு 15 செ.மீ. ஆனால் அந்த வில்லையின் குவியத் தூரம் என்ன ?

22. ஒரு சமதளப் பரப்பிற்கும், மெல்லிய குவிவில்லைக்கு மிடையே 4/3 விலகல் எண் உடைய ஒரு திரவம் நிரப்பப் பட்டிருக்கிறது. அந்தக் கூட்டமைப்பின் குவியத் தூரம் 24 செ.மீ. குவிவில்லையின் குவியத் தூரம் 15 செ.மீ. எனில் திரவத்தில் வளைபரப்பின் ஆரம் என்ன ?

23. 10 செ.மீ. இடைவெளிவிட்டு ஒரே அச்சில் அமைக்கப் பட்ட $L_1$, $L_2$ என்ற இரு மெல்லிய குவிவில்லைகளின் குவி யத் தூரம் முறையே 20 செ.மீ., 30 செ மீ. ஆகும். இதற் கிடையே உள்ள ஊடகம் காற்றாகும். $L_1$ன் முன் 60 செ.மீ. தொலைவில் ஒரு பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளது என்றால் இந்தக் கூட்டமைப்பின் குவியத்தூரம், முதன்மை புள்ளிகள், பிம்பம் அமையும் இடம் இவற்றைக் காண்.

24. முறையே 6 செ மீ., 4 செ.மீ. குவியத் தூரம் உள்ள இரு மெல்லிய குவி வில்லைகள் ஒன்றிற்கொன்று 2 செ.மீ. இடை வெளியோடு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. அந்தக் கூட்டமைப் பின் முன், முதல் வில்லையில் இருந்து 7·5 செ.மீ. தொலை வில் வைக்கப்பட்ட ஒரு பொருளின் பிம்பம் அமையும் இடம், அதன் நீள் உருப்பெருக்கம், இவற்றைக் காண்.

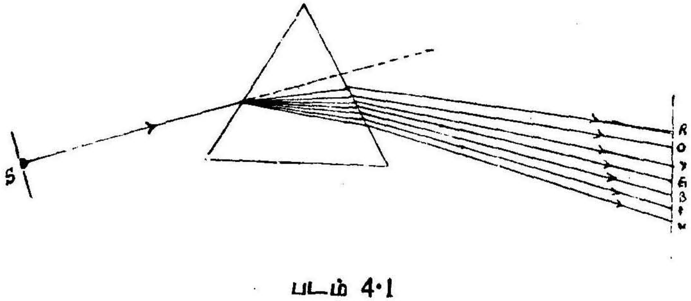
25. ஓர் அரைகோள வடிவமுள்ள கண்ணாடி வில்லையின் முதன்மைப் புள்ளிகள், மற்றும் குவியப் புள்ளிகள் இவற் றைக் காண், கோள ஆரம் 6 செ.மீ. ($\mu_{க} = 1{\cdot}5$)

26. 4 செ.மீ., 2 செ.மீ. வளைவு ஆரமுடைய இரு புறக் குவி வில்லையின் தடிப்பு 3 செ.மீ. ஆனால், அதன் குவியத் தூரத் தைக் காண். முதன்மைப் புள்ளிகள் அமையும் இடத்தை யும் குறிக்கவும். ($\mu_{க} = 1{\cdot}5$)

# 4. நிறப்பிரிகையும் நிறப்பிறழ்ச்சியும்

## (Dispersion And Chromatic Aberation)

4·1 ஒரு முப்பட்டகத்தின்வழியே செல்லும் சூரிய ஒளிக் கற்றையைப் பல்வேறு வண்ணக் கற்றைகளாகப் பிரிக்க முடியும் என்று நியூட்டனால் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட உண்மைதான், தற்பொழுது மிகவும் வளர்ந்திருக்கும் நிறமாலை இயலின் (spectroscopy) அடிப்படையாகும். சூரியனிடமிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றை அல்லது வெள்ளொளிக் கற்றை ஒன்றை ஒரு முப்பட்டகக் கண்ணாடியின வழியாக வெளிவரச்செய்து அவற்றை ஒரு திரையில் வீழ்த்தினால், திரையில் ஊதா முதல், சிவப்பு ஈருக உள்ள ஏழு வண்ணங்கள் அடங்கிய, நிறமாலை ஒன்றைக் காணலாம். (படம் 4·1).

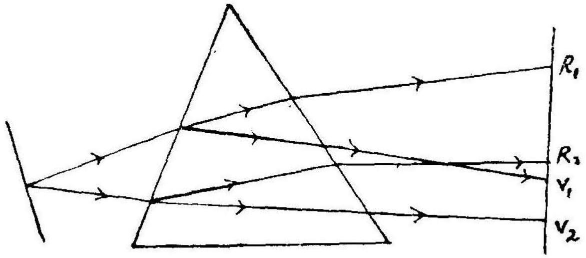



படம் 4·1

பல்வேறு வண்ணங்களடங்கிய ஒளிக்கற்றையை அதனுள் அடங்கியுள்ள வண்ணங்களாகப் பிரிக்கும் செயலுக்கு நிறப்பிரிகை (dispersion) என்று பெயர். நிறப்பிரிகையால் கிடைக்கும் நிறத் தொகுதி, நிறமாலை (spectrum) எனப்படும். படம் 4·1-லிருந்து ஒவ்வொரு நிறத்திற்கும், அதன் திசைமாற்றக் கோணம் வேறு

படுகின்றது என்பது தெளிவாகிறது. அவற்றுள் ஊதா மிக அதிகமாகவும், சிவப்பு மிகக் குறைவாகவும். ஏனைய நிறங்கள் இடைப்பட்ட கோண அளவிலும் திசைமாறுகின்றன. கொடுக்கப்பட்ட முப்பட்டகத்தின் விலகெண்ணைப் பொறுத்தே, ஒரு கதிருக்கான திசைமாற்றக் கோணம் அமையும் என முன்பு பார்த்தோம். ஆகவே வெவ்வேறு நிறங்களுக்கும், திசைமாற்றக் கோணம் வேறுபடுவதால் ஒவ்வோர் நிறத்திற்கும் அதே முப்பட்டகம், ஒவ்வோர் விலகெண்ணைக் கொண்டிருக்கும் என்றாகிறது. மாறாக, கொடுக்கப்பட்ட ஒரு முப்பட்டகத்தின் விலகெண் நிறத்திற்கு நிறம் மாறுபடுவதால், நிறப்பிரிகை ஏற்படுகிறது என்றும் கொள்ளலாம்.

4·2·கலப்பு நிறமாலையும் தூய நிறமாலையும் (Impure and pure spectrum) : வெள்ளொளிக் கற்றை ஒன்று முப்பட்டகத்தின் ஒரு விலகு பரப்பில் விழுவதாக இருக்கட்டும். கற்றையின் விளிம்பிலுள்ள இரு கற்றைகளைமட்டும் கருத்தில் கொள்வோமாயின், அவை இரண்டும் இரு நிறமாலைகளை உண்டாக்கும். இரு நிறமாலையின் நடுப் பகுதிகளில் ஒன்றுடனொன்று சேர்ந்த வண்ணங்களின் தெளிவற்ற தொகுப்பு ஒன்றைக் காண முடியுமே தவிர, அவற்றைத் தனித்துத் தெளிவாகக் காண இயலாது. இது கலப்பு நிறமாலை எனப்படும். (படம் 4·2). அவ்வாறின்றி அவ் வண்ணங்கள், தனித்துத் தெளிவாகத் தோன்றும் நிறமாலை, தூயநிறமாலை எனப்படும்.

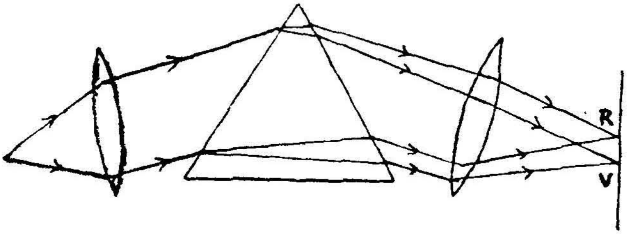



படம் 4·2

தூய நிறமாலை ஒன்றை, படம் 4·3-ல் காட்டப்பட்ட அமைப்பின் உதவியால் பெற முடியும்.

ஒளியூட்டப்பட்ட பிளவு ஒன்றின் முன் ஒரு குவி வில்லையை, அதன் குவியப் பிளவின் மையத்தோடு ஒன்றுமாறு வைத்து அதன் முன் ஒரு முப்பட்டகத்தை சிறும திசை மாற்றக் கோண நிலையில் வைக்கவேண்டும். முப்பட்டகத்தின் ஒரு விலகு பரப்பின்மீது விழும், இணைக்கற்றை ஒளி விலக்கம்மூலம் முப்பட்டகக் கண்ணாடியினுள் ஊடுருவி, நிறப் பிரிகை ஏற்பட்டு இரண்டாவது விலகு பரப்பிலிருந்து வெளிவருகிறது. இந்தக் கற்றை முன் மீண்டும் ஒரு

குவி வில்லையை வைத்து, பல்வேறு வண்ணங்கள், அதன் குவியத்தில் அமைந்த ஒரு வெண்திரையின் வெவ்வேறு புள்ளிகளில் குவிக்கச் செய்யலாம். இந் நிறமாலை தூய நிறமாலையாக இருக்கும்.




படம் 4·3

அலையியக்கக் கொள்கையின்படி ஒளி, ஒருவித அலையியக்கமாகும். வெவ்வேறு அலைநீளங்களுடைய பல அலைகளின் தொகுப்பே வெள்ளொளியாகும். ஒரு குறிப்பிட்ட அலைநீளம் உடைய ஒளிக்கதிர் நம் கண்களுக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட நிறத்தைப் புலப்படுத்துகின்றது. இந்த அலை நீளங்களை, (Angstrom unit) அங்ஸ்டிராம் (A.U) அலகில் அளக்கப்படுகின்றது. 1 A.U= $10^{-8}$ செ.மீ.

4·3. சூரிய ஒளி நிறமாலை (Solar spectrum): சூரியனிடமிருந்து புறப்படும் ஒளியில் நம் கண்களுக்குப் புலப்படக்கூடிய எல்லா ஒளி அலை வரிசைகளும் ஒருசேர இருப்பதால், ஒரு முப்பட்டகம்வழியாகத் தோன்றும் நிறமாலை, ஒரு தொடர் நிறமாலை (continuous spectrum) யாக அமையும். எனினும் சூரியனின் நிறமாலையைக் கூர்ந்து கவனித்தால் அதில் சில கருமைநிற வரிகள் தெளிவாகத் தென்படும். இவை ஃபாரன்ஹோஃபர் வரிகள் (Fraunhofer lines) எனப்படும். அவ் வரிகளுக்கு இடப்பட்ட பெயர், அவை அமையுமிடம், அவற்றின் அலைநீளம் இவைகள் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

| பெயர் | கண்ணுறு பகுதி | அலைநீளம் (ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகில்) |
|---|---|---|
| B | சிவப்பு | 6870 |
| C | வெளிர் மஞ்சள் | 6563 |
| $D_1$ | மஞ்சள் | 5896 |
| $D_2$ | மஞ்சள் | 5890 |
| E | பச்சை | 5270 |
| F | நீலம் | 4861 |
| G | கருநீலம் | 4308 |

**4·4.** மிகச் சிறிய விலகு கோணமுடைய ஒரு முப்பட்டகத்தில் நிறப் பிரிகையும் அதன் பிரி திறனும் (Dispersion and dispersive power); ABC என்ற சிறிய விலக்கு கோணமுடைய ஒரு முப்பட்ட கத்தில் PQ என்ற கதிர், விழுவதாகக் கொள்வோம் (படம் 4·4). அந்தக் கதிரின் படுகோணமும், விடுகோணமும் முறையே $i_1$, $i_2$ வாக இருக்கட்டும். விலகு கோணங்கள் முறையே $r_1$, $r_2$ ஆகவும், அதன் திசைமாற்றக் கோணம் $\delta$ வாகவும் இருப்தால்,

$$\delta = i_1 + i_2 - A$$

$$\therefore A = r_1 + r_2$$

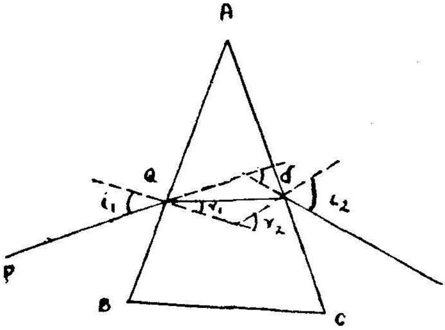
விலகு கோணம் மிகச் சிறியதாகையால்,

$\sin i_1 = \mu \sin r_1$ என்பதை

$i_1 = \mu r_1$ என்று

எழுதலாம். இதுபோலவே

$i_2 = \mu r_2$




படம் 4·4

$$\therefore \delta = i_1 + i_2 - A$$
$$= \mu (r_1 + r_2) - A$$
$$= (\mu - 1) A \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 4{\cdot}1$$

இப்பொழுது, ஊதா சிவப்பு நிறக் கதிர்களுக்கு, முறையே $\delta_{ஊ}$, $\delta_{சி}$ என்ற திசை மாற்றக் கோணங்கள் இருந்தால்,

$$\delta_{ஊ} = (\mu_{ஊ} - 1) \angle A$$

$$\delta_{சி} = (\mu_{சி} -) A$$

$$\therefore \delta_{ஊ} - \delta_{சி} = \left( \mu_{ஊ} - \mu_{சி} \right) A \quad \ldots \quad \ldots \quad 4{\cdot}2$$

ஊதா, சிவப்பு நிறங்களுக்கிடையே உள்ள திசைமாற்றக் கோணங் களின் இந்த வேறுபாடு,

கொடுக்கப்பட்ட முப்பட்டகப் பொருளின் இந்த நிறங்களுக் கிடையே ஏற்படும் நிறப்பிரிகை எனப்படும்.

∴ கோண நிறப்பிரிகை

$$\delta_{ஊ} - \delta_{சி} = (\mu_{ஊ} - \mu_{சி})\,A \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 4{\cdot}3$$

மேலும் இவ் விரண்டு நிறங்களுக்கும் நடுவில் அமைந்த ஒரு நிறக் கதிரின் திசைமாற்றக் கோணம் $\delta$ வாகவும், அதற்கான ஒளி விலகெண் $\mu$ வாகவும் இருந்தால்,

$$\frac{\delta_{ஊ} - \delta_{சி}}{\delta} = \frac{(\mu_{ஊ} - \mu_{சி})}{(\mu - 1)}$$

$$= \frac{d\mu}{(\mu - 1)} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 4{\cdot}4$$

இதில் $d\mu$ என்பது கணித முறைப்படி, ஊதாவிலிருந்து சிவப்பு நிறத்திற்கிடையே உள்ள ஒளி விலகெண்களின் மிகச்சிறிய வேறு பாடு எனப்படும்.

$\frac{d\mu}{\mu - 1}$ அல்லது $\left(\frac{\delta_{ஊ} - \delta_{சி}}{\mu - 1}\right)$ என்பது முப்பட்டகப் பொருளின் 'பிரிதிறன்' (dispersive power) எனப்படுகின்றது.

(குறிப்பு :—பிரிதிறனைக் காணும் முறையில், $\mu_{ஊ}$, $\mu_{சி}$ இவைகளுக்குப் பதிலாக $\mu_A$, $\mu_B$ என்ற சங்கேதங்களையும் பயன் படுத்துவார்கள். C, H என்ற ஃபாரன்ஹோஃபர் வரிகளுக்கிடையே தான், நம் கண்களுக்குப் புலப்படும் ஒளியின் சக்தி பெரும் பகுதி இருப்பதால், இவைகளுக்கிடையே உள்ள நிறமாலையின் பிரிதிறனைக் கணக்கிடும் வகையில் $\left[\frac{\mu_H - \mu_C}{\mu_D - 1}\right] = w$ என்ற தகவையும் பயன்படுத்துவது வழக்கில் உள்ளது.

முப்பட்டகத்தின் பிரிதிறன் அதன் பருப்பொருளைப் பொறுத்தது. க்ரௌவுன் கண்ணாடியின் பிரிதிறன் மிகக் குறைவாகவும், ஃபிளிண்ட் கண்ணாடியின் பிரிதிறன் மிக அதிகமாகவும் இருக்குமேயானால், இரு வண்ணங்களுக்கிடையே உள்ள பிரிதொலைவும் அதிகமாக இருக்கும்.

**4·5. நிறப் பிரிகையின் தனித்தன்மை (Irrationality of dispersion) :** க்ரௌவுன், ஃபிளிண்ட் கண்ணாடிகளினாலான

சம அளவு விலக்கு கோணமுடைய இரு முப்பட்டகங்களை எடுத்துக்கொள்வோம். இந்த இரு முப்பட்டகங்கள்வழியாகச் சம அளவு படுகோணத்தில் செல்லும் வெள்ளொளிக் கற்றையின் நிறமாலையைக் கவனித்தால், கீழ்க்கண்ட சில உண்மைகளைக் காணலாம்.

(1) முப்பட்டகத்திலிருந்து சம அளவு தொலைவில் வைக்கப் பட்ட ஒரு வெண் திரையில் ஏற்படும் இரு நிறமாலையின் குறுக்களவுகளும், (அகலமும்) ஒரே அளவாக இருப்ப தில்லை.

(2) இரு நிறமாலைகளிலும் உள்ள, இரு முனைகளிலும் இருக் கும் நிறங்கள் ஒன்றின்மீது ஒன்று விழுமாறு அமைத்தால், இடையே உள்ள நிறங்களும் அவ்வாறே ஒன்றின்மீது ஒன்று விழுவதில்லை. அதாவது, ஒரு பருப்பொருளின் நிறமாலை, மற்றொன்றிலிருந்து முற்றும் வேறுபடுகின்றது. இதைத்தான் நிறப்பிரிகையின் தனித்தன்மை என்கிறோம்.

**4·6. திசைமாற்றமின்றி நிறப்பிரிகை உண்டாக்க இரு முப்பட்ட கங்களை இணைக்கும் முறை (Dispersion without deviation):** சிறிய விலக்கு கோணமுடைய ஒரு முப்பட்டகத்தின் வழியாகச் செல்லும் ஒரு வெள்ளொளிக் கதிர், நிறப்பிரிகை மட்டுமின்றி, திசை மாற்றமும் அடைகின்றது. திசை மாற்றமின்றி, நிறப்பிரிகைமட்டும் உண்டாகும் வகையில் வெவ்வேறு பருப்பொருள்களாலான இரு சிறிய விலக்குக் கோணமுடைய முப்பட்டகங்களை, இணைக்க முடியும்.

$A_1$, $A_2$ என்ற விலக்குக்கோணமுடைய இரு முப்பட்டகங்களை எடுத்துக்கொள்வோம். இவ் விரு முப்பட்டகங்களின் விலக்குக் கோணங்களும் எதிரெதிராக அமையும்படி அவை இணைக்கப்பட் டிருக்கின்றன (படம் 4·5). அவை இரண்டிற்கான பிரிதிறன்கள் முறையே $\omega_1$, $\omega_2$ என இருக்கட்டும். ஊதா, சிவப்பு நிறங் களுக்கான விலகு எண்கள் முதல் முப்பட்டகத்திற்கு, முறையே $\mu_{1ஊ}$, $\mu_{1சி}$ எனவும் இரண்டாவது முப்பட்டகத்திற்கு முறையே $\mu_{1ஊ}$, $\mu_{2சி}$ எனவும் இருக்கட்டும். இவ் விரு முப்பட்டகங்களின் விலக்குக் கோணங்கள் மிகச் சிறியனவாகையால், திசைமாற்றக் கோணங்களை,

$$\delta_1 = (\mu_1 - 1)\ A_1 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 4·5$$

$$\delta_2 = (\mu_2 - 1)\ A_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 4·6$$

என எழுதலாம். $\mu_1$, $\mu_2$ இவை முறையே இரு முப்பட்டகங்களின், நிறமாலையின் நடுவில் அமைந்துள்ள நிறத்திற்கான ஒளி விலகெண்

களாகும். இவ் விரு முப்பட்டகங்கள் வழியாகச் சென்ற கதிர், திசை மாற்றமடையாமல் வெளிவர வேண்டுமாயின்,

$$\delta_1 + \delta_2 = 0$$

ஆகவே, $(\mu_1 - 1)\, A_1 + (\mu_2 - 1)\, A_2 = 0$

$$\therefore \frac{A_2}{A_1} = -\frac{(\mu_1 - 1)}{(\mu_2 - 1)} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 4{\cdot}7$$

இரு முப்பட்டகங்களின் விலக்குக் கோணங்களுக்கிடையே உள்ள தகவு, $-\dfrac{\mu_1 - 1}{\mu_2 - 1}$ என இருந்தால் இவ் விரு முப்பட்டகங்களினுல் ஏற்பட்ட திசை மாற்றங்கள் ஒன்றிற்கொன்று எதிராக அமைந்து, மொத்த திசைமாற்றம் சுழியாக அமையும். இரு முப்பட்டகங்களினுல் ஏற்பட்ட திசைமாற்றங்கள் ஒன்றுக்கொன்று எதிராக அமைந்திருக்கும் என்பதையே எதிர்க்குறி குறிக்கிறது.

முதல் முப்பட்டகத்தினுல் ஏற்பட்ட கோண நிறப்பிரிகை,

$$\delta_{1\,\text{ஊ}} - \delta_{1\,\text{சி}} = (\mu_{1\,\text{ஊ}} - \mu_{1\,\text{சி}})\, A_1$$

இரண்டாவது முப்பட்டகத்தினுல் ஏற்பட்ட கோண நிறப்பிரிகை,

$$\delta_{2\,\text{ஊ}} - \delta_{2\,\text{சி}} = (\mu_{2\,\text{ஊ}} - \mu_{2\,\text{சி}})\, A_2$$

எனவே, இவ் விரு முப்பட்டகங்களினுல் ஏற்பட்ட கூடுதல் கோண, நிறப்பிரிகை,

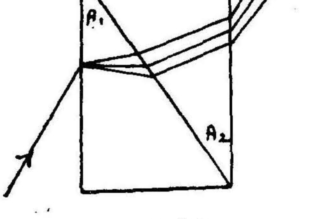
$$= (\mu_{1\,\text{ஊ}} - \mu_{1\,\text{சி}})\, A_1 + (\mu_{2\,\text{ஊ}} - \mu_{2\,\text{சி}})\, A_2$$

$$= (\mu_{1\,\text{ஊ}} - \mu_{1\,\text{சி}}) - \left\{ (\mu_{2\,\text{ஊ}} - \mu_{2\,\text{சி}}) \left( \frac{\mu_1 - 1}{(\mu_2 - 1)} \right) A_1 \right\}$$

$$= (\mu_1 - 1)\, A_1 \left\{ \frac{\mu_{1\,\text{ஊ}} - \mu_{1\,\text{சி}}}{\mu_1 - 1} - \frac{\mu_{2\,\text{ஊ}} - \mu_{2\,\text{சி}}}{\mu_2 - 1} \right\}$$

$$= (\mu_1 - 1)\, A_1\, (w_1 - w_2) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 4{\cdot}8$$

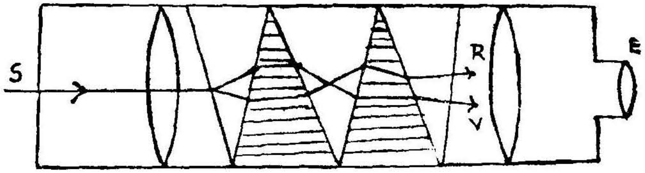
இரு முப்பட்டகங்களின் பருப்பொருள் வெவ்வேருக இருந்தால், $w_1 \pm w_2$ எனவே, நிறப்பிரிகை உருவாகி இருக்கும். இவ் விரு முப்பட்டகங்களின் பருப்பொருள் ஒன்றேயானுல் அவைகளின் கூட்டமைப்பு, ஒரு சம தளப் பாளமாக ஆகிவிடுவதால் நிறமாலை ஏற்படமுடியாது. இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட முப்பட்டகங்களை (வெவ்வேறு பருப்பொருளுடையவை) தொகுத்துத் திசை மாற்றமின்றி நிறப்பிரிகை உருவாக்கும் முறையைப்



படம் 4·5

படம் 4·5 விளக்குகின்றது. இவ்வகையான முப்பட்டகங்களின் தொகுப்பு நேர்காட்சி நிறமாலைக் காட்டி (direct vision spectroscope) எனப்படுகின்றது.

படம் 4·6 ஒரு நேர்காட்சி நிறமாலையைக் குறிக்கிறது.




படம் 4·6

**4·7. நிறப்பிரிகையின்றித் திசைமாற்றமடையச் செய்தல் (Deviation without dispersion):** இரு முப்பட்டகங்களின் பருப் பொருள்களின் பிரிதிறனைப் பொறுத்து, அவற்றின் விலக்கு கோணங்களை அமைத்தால், அவற்றின் தொகுப்பு அவைகளின்வழி ஊடுருவும், ஒரு வெள்ளொளிக் கதிரை நிறப்பிரிகையின்றித் திசை மாற்றமடையச் செய்யலாம்.

ஊதா, சிவப்பு மற்றும் இவைகளுக்கு நடுவிலுள்ள நிறம் இவை களுக்கான விலகெண்கள் முறையே, $\mu_1$ஊ, $\mu_1$சி, $\mu_1$ ஆக உள்ள ஒரு க்ரௌவுன் கண்ணாடி முப்பட்டகத்தையும், மேற்கூறிய நிறங் களுக்கான, விலகெண்கள் முறையே $\mu_2$ஊ, $\mu_2$சி, $\mu_2$ உள்ள ஒரு ஃபிளிண்ட் கண்ணாடியாலான மற்றொரு முப்பட்டகத்தையும் எடுத்துக்கொள்வோம். இவ் விரு முப்பட்டகங்களின் விலக்குக் கோணங்கள் முறையே $A_1$, $A_2$ஆக இருக்கட்டும். க்ரௌவுன் கண்ணாடி முப்பட்டகத்தின் கோண நிறப்பிரிகை.

$$=(\mu_1\text{ஊ}-\mu_1\text{சி})\ A_1$$

ஃபிளிண்ட் கண்ணாடி முப்பட்டகத்தின் கோண நிறப்பிரிகை

$$=(\mu_2\text{ஊ}-\mu_2\text{சி})\ A_2$$

எனவே, இவ் விரு முப்பட்டகங்கள் வழியாகவும் செல்லும் ஒரு வெள்ளொளிக் கதிரின் மொத்தக்கோண நிறப்பிரிகை,

$$=(\mu_1\text{ஊ}-\mu_1\text{சி})\ A_1+(\mu_2\text{ஊ}-\mu_2\text{சி})\ A_2$$

இவ் விரண்டின் வழியாகச் செல்லும் கதிர், நிறப்பிரிகை அற்றதாக இருக்க வேண்டுமாயின்,

$$(\mu_1\text{ஊ}-\mu_1\text{சி})\ A_1+(\mu_2\text{ஊ}-\mu_2\text{சி})\ A_2=0$$

$$\therefore\quad \frac{A_2}{A_1}=-\left(\frac{\mu_1\text{ஊ}-\mu_1\text{சி}}{\mu_2\text{ஊ}-\mu_2\text{சி}}\right)\quad \dots\quad \dots\quad \dots$$

இந்த இரு முப்பட்டகங்களின் தொகுப்பின்வழியாகச் செல்லும் ஒரு நடுநிறக் கதிர் அடையும் திசைமாற்றம்,

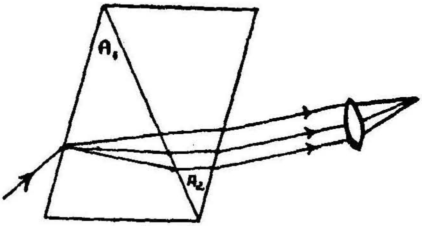
$$=(\mu_1-1)A_1+(\mu_2-1)\ A_2$$

$$=(\mu_1-1)A_1+(\mu_2-1)\ -\left(\frac{\mu_1\text{ஊ}-\mu_1\text{சி}}{\mu_2\text{ஊ}-\mu_2\text{சி}}\right)A_1$$

$$=(\mu_1-1)A_1\left[\ 1-\frac{(\mu_2-1)}{(\mu_2\text{ஊ}-\mu^2\text{சி})}\cdot\frac{(\mu_1\text{ஊ}-\mu_1\text{சி})}{(\mu_1-1)}\right]$$

$$=(\mu_1-1)A_1\left(1-\frac{w_1}{w_2}\right)\quad\cdots\quad\cdots\quad\cdots\quad 4{\cdot}10$$

நிறப்பிரிகையின்றித் திசை மாற்றம் மட்டும் இருக்கும்படி அமைக்கப்பட்ட இரு முப்பட்டகங்களின் தொகுப்பை (படம் 4·7) விளக்குகிறது. இவ்விதம் அமைக்கப்பட்ட முப்பட்டகங்கள் நிறப் பிறழ்ச்சி நீக்கிய முப்பட்டகங்கள் (achromatic prisms) எனப் படும்.



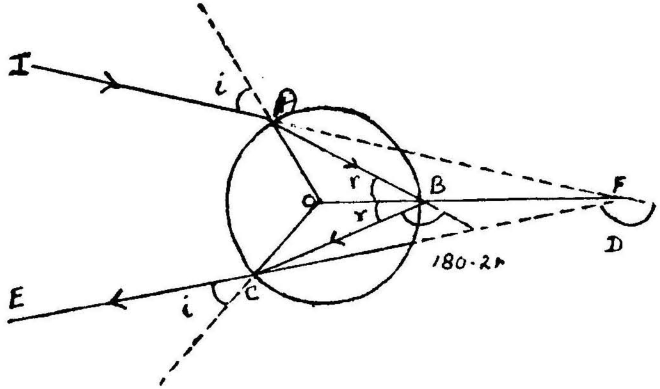

படம் 4·7

4·8 வானவில் (Rainbow): சூரியன் ஒளிவீசிக் கொண்டிருக் கும்பொழுது, மழைத்துளிகள் நிரம்பிய வானத்தை, சூரியன் இருக்கும் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் நோக்கும் ஒருவர், வானில் நிறமாலை ஒன்று, அரைவட்ட வடிவமாகத் தோன்றுவதைக் காணலாம். இந்த நிறமாலையையே வானவில் என்று கூறு கிறோம். சில சமயங்களில் ஒன்றிற்கு மேற்பட்ட நிறமாலைகளை யும் காணலாம். சூரிய ஒளிக்கதிர் தண்ணீர்த் துளிகளினுடே ஊடுருவி வெளியேறும்பொழுது, ஏற்படும் நிறப்பிரிகையே இந்த நிறமாலை தோன்றக் காரணமாகிறது. தண்ணீர்த் துளிகளில் ஊடுருவும் ஒரு சூரிய ஒளிக்கதிர், ஓர் எதிரொளிப்புக்குப்பின் நம் கண்களை அடையுமானல், அந்த நிறமாலையின் வெளிப்புறம் சிவப்பு நிறமும், உட்புறம் ஊதா நிறமும் கொண்டிருக்கும். இது நம் கண் களுக்கு சுமார் 42° ஏற்றக்கோணத்தில் அமையும். இது முதல்நிலை

வானவில் எனப்படும். தண்ணீர்த் துளியினுள், இரு எதிரொளிப்பு களுக்குப்பின் நம் கண்களை அடையும், ஒளிக்கதிரின் நிறமாலை யின் வெளிப்புறம் ஊதா நிறமும், உட்புறம் சிவப்பு நிறமும் கொண்ட தாயிருக்கும். மேலும் இது நம் கண்களுக்குச் சுமார் 52° ஏற்றக் கோணத்தில் அமையும். இந் நிறமாலை இரண்டாம் நிலை வானவில் எனப்படும். சில சமயங்களில் இரண்டிற்கும் மேற்பட்ட வான வில்கள் அமைவது உண்டு.

(அ) முதல்நிலை வானவில்: சூரிய ஒளிக்கற்றை தொடர்ந்து அமைந்துள்ள தண்ணீர்த் துளிகளின்வழி ஊடுருவிச் செல்லும் பொழுது நிறப்பிரிகை ஏற்பட்டு, பின்னர்த் தண்ணீர்த் துளிகளினுள் ஓர் எதிரொளிப்புக்குப்பின் ஒளி விலகல்மூலம் நம் கண்களை அடையுமானல், அவை முதல் நிலை வானவில்லைத் தோற்றுவிக்கும்.

அவ்வாறு நம் கண்களை வந்தடையும், சூரிய ஒளிக்கதிர் அடையும் திசை மாற்றத்தைக் காண்போம். IA என்னும் ஒரு படு கதிர் தண்ணீர்த் துளியில் A என்ற படுகைப்புள்ளியில் $i$ என்ற படு கோணத்தில் விழுந்து ஒளிவிலகல்மூலம் Bயை அடைகிறது (படம் 4·8).




படம் 4·8

Bயில் எதிரொளிக்கப்பட்ட அக் கதிர், C என்ற படுகைப் புள்ளியில் மீண்டும் விலகி CE என்ற திசையில் சென்று நம் கண்களை வந்தடைகின்றது எனக் கொள்வோம். தண்ணீர்த்துளியின் ஒளி விலகெண் $\mu$ எனக் கொள்வோம். கோள வடிவமுள்ள தண்ணீர்த் துளியின் மையம் O ஆனல் OA, OB, OC என்பன முறையே

B, C என்ற படுகைப்புள்ளிகளில் வரையப்பட்ட நேர்குத்துக் காடுகளாக அமையும். விலகு கோணம் $r$ என்றால்,

$$\widehat{OAB}=\widehat{ABO}=\widehat{OBC}=\widehat{BCO}=\angle r$$

படுகதிர் IA-யையும், விடுகதிர் CE-யையும் பின்னுக்கு நீட்டினால், அவை ஒன்றையொன்று F-ல் தொடுகின்றது. எனவே, $\angle$Dதான் திசைமாற்றக் கோணமாகும்.

A என்ற படுகைப்புள்ளியில் ஒளிக்கதிர் அடையும் திசை மாற்றம் $=i-r$. B என்ற படுகைப்புள்ளியில் ஒளிக்கதிர் அடையும் திசைமாற்றம் $=180-2r$. C என்ற படுகைப்புள்ளியில் ஒளிக்கதிர் அடையும் திசை மாற்றம் $=i-r$.

எனவே, இவற்றின் கூடுதலே IA-க்கும் CE-க்கும் இடையே யான திசைமாற்றக் கோணமாகும்.

$$\therefore \quad D=(i-r)+(180-2r)+(i-r)$$

$$=180+2i-4r \qquad 4{\cdot}11$$

Dயின் பெரும அளவு 180° ஆகும். அதாவது படுகதிர் சென்ற திசையிலேயே மீண்டும் எதிரொளிக்கப்படுவதைக் குறிக்கிறது.

D-யின் சிறும அளவைக் காண, கீழ்க்காணும் கணித முறை யைப் பயன்படுத்தலாம்.

$$dD=0$$

$$dD=2di-4dr$$

$$\therefore \quad 2di=4dr$$

$$\therefore \quad \frac{di}{4dr}=\frac{1}{2} \quad \therefore \frac{di}{dr}=2$$

மேலும்,

$$\sin i=\mu \sin r$$

$$\cos i \; di=\mu \cos r \; dr$$

$$\cos i \frac{di}{dr}=\mu \cos r$$

$$2 \cos i=\mu \cos r$$

$$=\mu \sqrt{1-\sin^2 r}$$

$$2 \cos i=\mu \sqrt{\frac{\mu^2-\mu^2 \sin^2 r}{\mu^2}}$$

$$4\cos^2 i = \mu^2 - \sin^2 i$$
$$4(1-\sin^2 i) = \mu^2 - \sin^2 i$$
$$4 - 3\sin^2 i = \mu^2$$
$$3\sin^2 i = 4 - \mu^2$$
$$\therefore \sin^2 i = \frac{4-\mu^2}{3} \text{ அல்லது } \sin i = \sqrt{\frac{4-\mu^2}{3}} \quad \ldots 4{\cdot}12$$

படுகோணம் $i$ இந்த மதிப்புள்ளதாக இருந்தால், திசைமாற்றக் கோணம் சிறும அளவாக இருக்கும்.

தண்ணீரின், $\mu_{சி} = 1{\cdot}329$; $\mu_{ஊ} = 1{\cdot}349$

எனவே, $i_{சி} = 59° 36'$; $r_{சி} = 40° 30'$

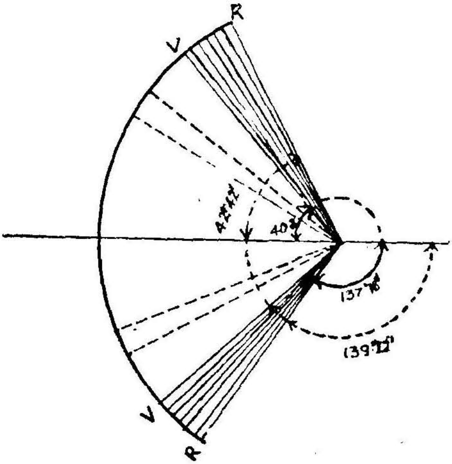
ஆகவே, $D_{சி} = 180 + 2i - 4r$

$= 137° 18'$

இதுபோலவே $i_{ஊ} = 58° 30'$ $r_{ஊ} = 39° 36'$

எனவே, $D_{ஊ} = 139° 12'$ ... ... ... 4·13

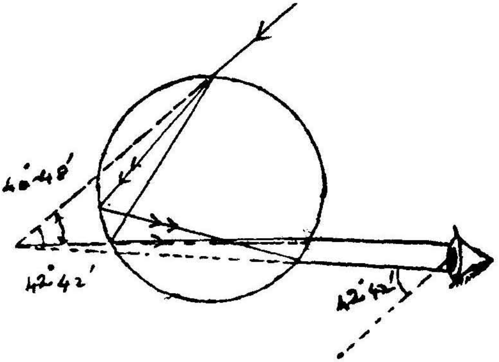
ஆகவே, நிறப்பிரிகை ஏற்பட்ட ஒளிக்கற்றை யாவும், படம் (4·9)-ல், காட்டியவாறு, (180° – 40° 48′) க்கும் குறைவாகத் திசைமாற்ற மடைவதில்லை. எனவே, திசைமாற்றமடைந்த ஒளிக்கற்றை யாவும்




படம் 4·9

40° 48′ உள்ள ஒரு கூம்பில் அமைந்திருக்கும் (படம் 4·10). தவிர சிறும திசை மாற்றக் கோணத்தில் அமையும் ஒளிக்கற்றைதான், பொலிவு மிக்கதாயும் இருக்கும். சிறும திசை மாற்றக் கோணம், சிவப்பு நிறத்திற்கு 137° 18′ ஆகவும், ஊதா நிறத்திற்கு 139° 12′

ஆகவும் இருப்பதால் வானவில்லைப் பார்ப்பவரின் கண்களுக்கு, சிவப்பு நிறம், 42° 42′, (180° − 137° 18′) ஏற்றக் கோணத்திலேயும், ஊதா நிறம் 40° 48′ (180° − 139° 12′) ஏற்றக் கோணத்திலேயும் அமையும். அவற்றிற்கு இடையே, மற்ற வண்ணங்களும் முறையாகத் தென்படும். எனவே, முதல் நிலை வானவில்லில், சிவப்பு நிறம், வெளிப்புறமும், ஊதா நிறம் உட்புறமும் அமைந்திருக்கும்.




படம் 4·10

(ஆ) இரண்டாம் நிலை வானவில் : இரண்டாம் நிலை வானவில் மழைநீர்த் துளிகளினுள் இரு எதிரொளிப்புகள் நிகழ்ந்தபின், வெளியேறும் நிறப்பிரிகையுற்ற சூரிய ஒளிக்கதிரினால் ஏற்படுகிறது. 4·11-ல் AB என்ற சூரிய ஒளிக்கதிர் ஒன்று தண்ணீர்த்துளி ஒன்றில் $i$ படுகோணத்தில் விழுகிறது. B யின் ஒளி விலகல் நிகழ்ந்த பிறகு C, D இந்தப் படுகைப்புள்ளிகளில் எதிரொளிப்பு ஏற்பட்டு E என்ற படுகைப்புள்ளியை அடைகிறது. Eயில் மீண்டும் ஒளிவிலகல் நிகழ்ந்து நம் கண்களை அடைகிறது.

எனவே,

$$\text{திசைமாற்றம் } D = 2(i-r)+2(180-2r)$$
$$= 360+2i-6r$$

ஒளிக்கற்றையின் சிறும திசை மாற்றக் கோணம் காண வேண்டுமாயின்,

$$dD=0$$
$$dD=2di-6dr$$
$$\therefore \quad \frac{di}{dr}=3$$

மேலும், $\sin i=\mu \sin r$

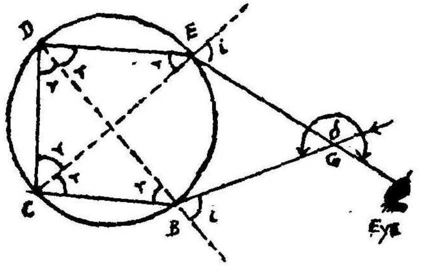
$$\therefore \quad \cos i\, di=\mu \cos dr$$
$$\therefore \quad \cos\frac{di}{dr}=\mu \cos r$$

$$3\cos i = \mu \cos r$$
$$9(1-\sin^2 i) = \mu^2 (1-\sin^2 r)$$
$$9-9\sin^2 i = \mu^2 - \mu^2 \sin^2 r$$
$$= \mu^2 - \sin^2 i$$
$$\therefore \quad 8\sin^2 i = 9-\mu^2$$

அல்லது $\sin i = \sqrt{\dfrac{9-\mu^2}{8}}$ ... ... ... 4·14

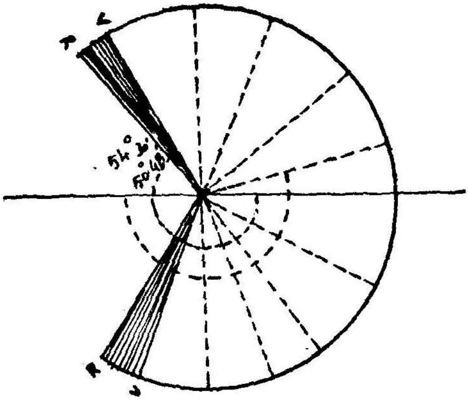
$i$ யின் இந்த மதிப்பிற்குரிய சிவப்பு, ஊதா நிறங்களின் சிறும திசை மாற்றக் கோணங்கள் பின்வருமாறு:

D சிறும $= 360 + 2i - 4r$
D சிவப்பு $= 230^\circ\ 48' = (180^\circ + 50^\circ\ 48')$
D ஊதா $= 234^\circ 30' = (180^\circ + 54^\circ\ 30')$



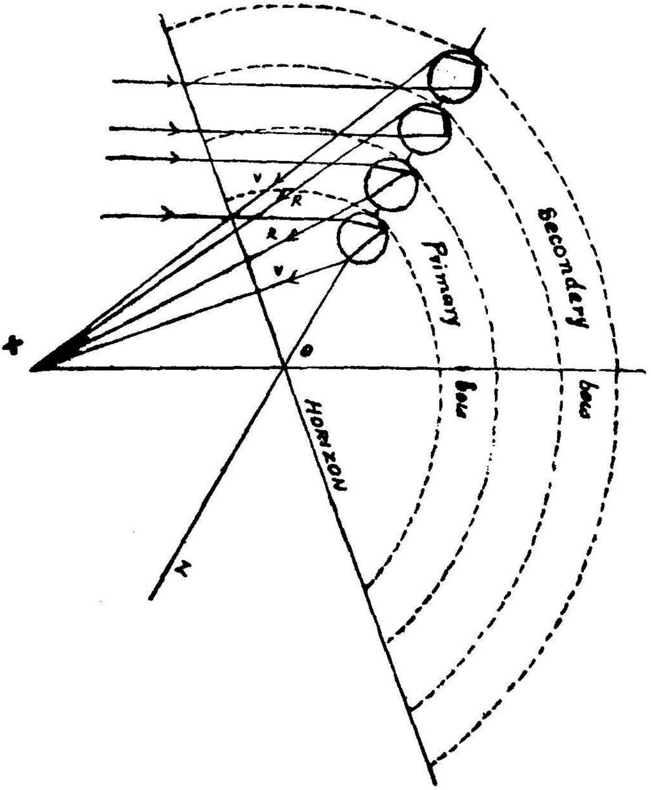

படம் 4·11

சிறும திசைமாற்றக் கோணத்தில் அமைந்த ஒளிக்கற்றையின் சிவப்பு, ஊதா நிறங்களின் வெளிக்கோணம், (external angle) முறையே 50° 48', 54° 30' ஆக அமைந்த ஒரு கூம்பாக அமையும்.



படம் 4·12

முதல் நிலை வானவில், இரண்டாம் நிலை வானவில் இவை தோன்றும் நிலையைப் படம் 4·13 விளக்குகிறது.




படம் 4·13

4·9. வில்லைகளில் நிறப்பிறழ்ச்சி (Chromatic aberration): ஒரு வில்லையின் குவியத்தூரம், அந்த வில்லைப் பொருளின் விலகெண், வில்லையின் இரு வளைய ஆரங்கள் இவைகளுக்கிடையே உள்ள சமன்பாடு,

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$ எனப் பார்த்தோம்.

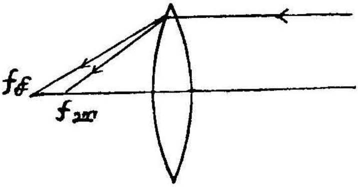
ஓர் ஊடகத்தின் ஒளிவிலகெண் ஒளியின் நிறத்தைப் பொறுத்து இருப்பதால், ஒரு வெள்ளொளிக் கதிர், வில்லைவழி செல்லும்பொழுது சிவப்பு, ஊதா நிறங்களுக்கான குவியத் தூரங்கள் முறையே, $f_{சி}$, $f_{ஊ}$ ஆனால்,

$$\frac{1}{f_{சி}} = (\mu_{சி} - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{ஊ} = (\mu_{ஊ} - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$\mu_{ஊ} > \mu_{சி}$ ஆதலால்,

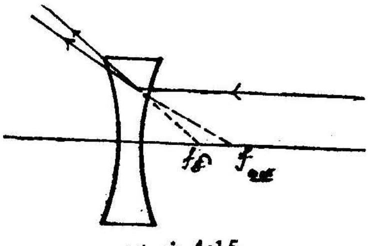
$f_{ஊ} < f_{சி}$ ஆக அமையும் (படம் 4·14). எனவே, வெள்ளொளி இணைக்கற்றை ஒன்று, ஒரு வில்லையின் முதன்மை அச்சிற்கு இணையாகச் சென்று வில்லையில் ஒளிவிலகல் நிகழ்ந்த பிறகு ($f_{ஊ} < f_{சி}$ ஆதலால்) ஊதா நிறக் கதிர்கள், சிவப்பு நிறக் கதிர்களைவிடக் குவிவில்லையின் அருகில் குவியும்.




படம் 4·14

இடைப்பட்ட நிறங்கள், இவ் விரு புள்ளிகளுக்கு இடைப்பட்ட இடங்களில் குவியும். ஆகவே, முதன்மை அச்சில் வைக்கப்பட்ட ஒரு புள்ளிப்பொருளிலிருந்து செல்லும் வெள்ளொளிக் கதிர்கள் வில்லைவழி சென்று முதன்மை அச்சில், ஒரு புள்ளியில் குவியாமல், மிகக் குறுகிய ஒரு நீள் நிற மாலையாக அமையும். வில்லையின் இந்தக் குறையே வில்லையின் நிறப்பிறழ்ச்சி எனப்படும்.

ஒரு குழிவில்லையில் நிறப்பிறழ்ச்சி ஏற்படுவதைப் படம் 4·15 விளக்குகிறது. குழிவில்லையில் ஏற்படும் நிறப்பிறழ்ச்சி குவி வில்லையில் ஏற்படும் நிறப்பிறழ்ச்சிக்கு எதிரிடையாக இருக்கிறது. இங்குச் சிவப்பு நிறம் லென்சுக்கு அருகில் குவிகிறது. எனவே, ஒரு குவி வில்லையையும் மற்றுமொரு குழி வில்லையையும் முறையாக




படம் 4·15

இணைப்பதன் மூலம் ஒரு வில்லையினால் ஏற்பட்ட நிறப்பிறழ்ச்சியை மற்றொரு வில்லையினால் ஏற்படும் நிறப்பிறழ்ச்சியோடு சமனப்படுத்த முடியும்.

4·10. ஒரு வில்லையின் பிரிதிறனும் அதன் நிறப் பிறழ்ச்சியும் :

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

என்ற சமன்பாட்டைப் பகுத்தால்,

$$\frac{-df}{f^2}=d\mu\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

$$=d\mu\cdot\frac{1}{f(\mu-1)}$$

$$\frac{-df}{f}=\frac{d\mu}{(\mu-1)} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 4·15$$

$d\mu$ என்பது இரு குறிப்பிட்ட நிறங்களுக்கான விலகெண்களின் மிகச் சிறிய வேறுபாடாகும். $df$ என்பது அந்த வேறுபாட்டினால் உண்டாகும், குவியத் தூரத்தின் வேறுபாடாகும். ஊதா, சிவப்பு, நிறங்களுக்கிடையே விலகெண்களின் வேறுபாட்டை $d\mu$ எனக் கொண்டால்,

$$d\mu=\mu_{ஊ}-\mu_{சி}$$

$$\therefore \quad \frac{d\mu}{(\mu-1)}=\frac{(\mu_{ஊ}-\mu_{சி})}{(\mu-1)}$$

இந்தச் சமன்பாடு அந்த வில்லையின் பருப்பொருளின் பிரிதிறனைக் குறிக்கிறது. எனவே, ஒரு வில்லையின் பிரிதிறன்.

$$-\frac{df}{f}\left(=\frac{d\mu}{\mu-1}\right) \text{ எனவாகிறது.}$$

$\left(\frac{d\mu}{\mu-1}\right)=w$ எனக்கொண்டால்,

$$-\frac{df}{f}=w$$

$$\therefore \quad -df=wf \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 4·16$$

நிறப்பிறழ்ச்சி = வில்லையின் பிறிதிறன் × வில்லையின் சராசரி குவியத் தூரம்.

**4·11. நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய வில்லைத் தொகுப்பு (Achromatic combination of lenses) :** முறையே $f_1$, $f_2$ குவியத் தூரமுடைய

இரு வில்லைகள் ஒன்றோடொன்று ஒட்டிவைத்திருப்பதாகக் கொள்வோம். அந்தக் கூட்டமைப்பின் குவியத் தூரம் F என்றால்,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

இதைப் பகுத்தால்,

$$-\frac{dF}{F^2} = -\frac{df_1}{f_1^2} - \frac{df_2}{f_2^2}$$

இந்த இரு வில்லைகளின் தொகுப்பு, நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கியதாக அமையவேண்டுமானால், எல்லா நிறங்களுக்கும் F-ன் மதிப்பு மாறாமல் இருக்கவேண்டும். எனவே $dF = 0$.

$$\therefore \quad \frac{df_1}{f_1^2} + \frac{df_2}{f_2^2} = 0.$$

மேலும்,

$$\frac{df_1}{f_1} = w_1 \; ; \quad \frac{df_2}{f_2} = w_2 \quad \text{ஆதலால்,}$$

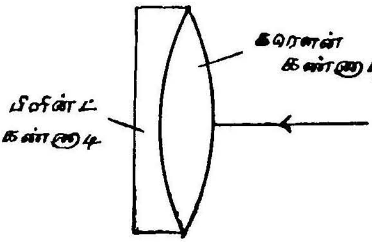
$$\frac{w_1}{f_1} + \frac{w_2}{f_2} = 0 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad 4{\cdot}17$$

இந்தச் சமன்பாட்டிற்கு ஏற்ப அமைக்கப்படும் இரு வில்லைகளின் தொகுப்பு நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாக இருக்கும்.

இரு வில்லைகளின் கூட்டமைப்பால்மட்டும், நிறப்பிறழ்ச்சியை முழுமையாக நீக்க இயலாது. இரு வில்லைகளின் தொகுப்பு, இரண்டாம் நிலை நிறமாலை ஒன்றைத் தோற்றுவித்துவிடும். ஆகவே, இரண்டிற்கும் மேற்பட்ட வில்லைகளை முறையாக இணைப்பதன்மூலம், நிறப்பிறழ்ச்சியை அறவே நீக்க முடியும். அவ்வாறான தொகுப்பு, $\Sigma \frac{w}{f} = 0$ என்ற சமன்பாட்டில் அமையவேண்டும்.

படம் 4·16ல் நிறப்பிறழ்ச்சியை நீக்கும் வகையில் அமையப்பட்ட இரு வில்லைகளின் தொகுப்பைக் காணலாம். அவற்றில் ஒன்று குவி வில்லையாகவும் மற்றொன்று குழி வில்லையாகவும் இருத்தல் வேண்டும். இந்தக் கூட்டமைப்பு ஒரு குவி வில்லையாக அமைய வேண்டுமானால், குவிவில்லையைக் க்ரொவுன் கண்ணாடியாலும், (இதன் பிரிதிறன் குறைவு) குழிவில்லையை ஃபிளிண்ட் கண்ணாடியினாலும் செய்ய வேண்டும். இவ்வாறான இரு வில்லைகளின் தொகுப்பு ' நிறப்பிறழ்ச்சி

இரட்டை வில்லைகள் (achromatic doublet) என்று கூறப்படுகின்றது.




படம் 4·16

4·12. ஒன்றிற்கொன்று இடைவெளிவிட்டு அமைக்கப்பட்ட, நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய இரு வில்லைகளின் தொகுப்பு: ஒன்றுக்கொன்று $a$ தொலைவில் வைக்கப்பட்ட இரு வில்லைகளின் குவியத் தூரங்கள் $f_1$, $f_2$ எனக் கொள்வோம். அவற்றின் கூட்டமைப்பின் குவியத்தூரம் F என்றால்,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{a}{f_1 f_2}$$

இந்தச் சமன்பாட்டைப் பகுத்தால்,

$$-\frac{dF}{F^2} = -\frac{df_1}{f_1^2} - \frac{df_2}{f_2^2} - a\left[\frac{1}{f_1}\left(-\frac{df_2}{f_2^2}\right) + \frac{1}{f_2}\left(-\frac{df_1}{f_1^2}\right)\right]$$

$$\frac{dF}{F^2} = \frac{df_1}{f_1^2} + \frac{df_2}{f_2^2} + \frac{a}{f_1 f_2}\left[\frac{df_2}{f_2} + \frac{df_1}{f_1}\right]$$

இந்தக் கூட்டமைப்பு நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாக அமைய வேண்டுமாயின், $dF=0$

$$\therefore \quad \frac{df_1}{f_1^2} + \frac{df_2}{f_2^2} + \frac{a}{f_1 f_2}\left(\frac{df_1}{f_1} + \frac{df_2}{f_2}\right) = 0$$

மேலும்,

$$w_1 = \frac{df_1}{f_1}; \quad w_2 = \frac{df_2}{f_2} \text{ எனின்,}$$

$$\frac{w_1}{f_1} + \frac{w_2}{f_2} - \frac{a(w_1 + w_2)}{f_1 f_2} = 0$$

இரு லென்சுகளும் ஒரே பருப்பொருளாலானவை என்ருல்,

$$w_1 = w_2 = w$$

$$\therefore \quad \frac{w}{f_1} + \frac{w}{f_2} - \frac{2aw}{f_1 f_2} = 0$$

$$\therefore \quad a = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 4{\cdot}18$$

ஆகவே, ஒரே பருப்பொருளினுல் ஆன, இரு வில்லைகளின் கூட்டமைப்பு நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாக இருக்கவேண்டுமாயின், அவைகளுக்கிடையே உள்ள தொலைவு, அவ் விரண்டு வில்லைகளின் குவியத்தூரங்களின், கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. க்ரௌவுன், ஃபிளிண்ட் கண்ணுடிகளின் பிரிதிறன்கள், முறையே, 0·03, 0·05. மேலும் நீலம், சிவப்பு நிற ஒளிகளுக்கான, விலகெண்களின் வேறுபாடு, க்ரௌவுன் கண்ணுடிக்கு 0·014 ஆகவும், ஃபிளின்ட் கண்ணுடிக்கு 0·023 ஆகவும் இருக்கிறது. அவ் விரு கண்ணுடிகளினுல் செய்யப்பட்ட முப்பட்டகங்களின் விலக்கு கோணங்கள், எந்தப் பாதை அளவாக இருந்தால், இவ் விரண்டு முப்பட்டகங்களின்வழியே செல்லும் வெள்ளொளிக் கதிர், நிறப்பிரிகையற்ற திசை மாற்றம் $5^\circ$ கொண்டதாக இருக்கும் ?

விடை;

க்ரௌவுன் கண்ணுடியின் பிரிதிறன் $w_1$ எனவும், அதன் சராசரி விலகு எண் $\mu_1$ எனவும் இருக்கட்டும். இக் கண்ணுடியால் செய்யப் பட்ட முப்பட்டகத்தின் விலக்குகோணம் $A_1$ ஆக இருக்கட்டும். ஃபிளிண்ட் கண்ணுடியின் பிரிதிறன் $w_2$ எனவும், அதன் சராசரி விலகு எண் $\mu_2$ எனவும், இக் கண்ணுடியால் செய்யப்பட்ட முப் பட்டகத்தின் விலக்குகோணம் $A_2$ எனவும் இருக்கட்டும்.

$$w_1 = 0{\cdot}03$$

$$\mu_{1நீ} - \mu_{1சி} = 0{\cdot}014$$

$$w_1 = \frac{\mu_{1நீ} - \mu_{1சி}}{\mu_1 - 1}$$

$$\therefore \quad (\mu_1 - 1) = \frac{0{\cdot}014}{0{\cdot}03} = 0{\cdot}4667$$

$$\therefore \quad \mu_1 = 1{\cdot}4667$$

$$\text{திசை மாற்றக் கோணம்} = (\mu_1 - 1)\, A_1 \left( 1 - \frac{w_1}{w_2} \right)$$

$$5^\circ = 0{\cdot}4667\ A_1 \left(1 - \frac{0{\cdot}03}{0{\cdot}05}\right)$$

$$A_1 = \frac{25}{2 \times 0{\cdot}4667}$$

$$= 26^\circ\ 48'$$

நிறப்பிரிகை இல்லையெனில், $\frac{A_2}{A_1} = -\frac{\mu_1 நீ - \mu_1 சி}{\mu_2 நீ - \mu_2 சி}$

$$= \frac{0{\cdot}014}{0{\cdot}023}$$

$$\therefore \quad A_2 = A_1 \times \frac{0{\cdot}014}{0{\cdot}023}$$

$$= 26^\circ\ 48' \times \frac{14}{23}$$

2. க்ரொவுன், ஃபிளிண்ட் கண்ணாடிகளின், பிரிதிறன்கள் முறையே 0·2, 0·4 ஆகும். இரு வில்லைகளின் தொகுப்பு ஒன்று, நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாகவும், அந்தக் கூட்டமைப்பின் குவியத் தூரம் 20 செ.மீ. அளவாகவும் இருந்தால், இரு வில்லைகளின் குவியத் தூரங்களின் மதிப்புகள் என்ன ?

விடை:

இரு வில்லைகளின் குவியத்தூரங்களும் முறையே $f_1$, $f_2$ வாக இருக்கட்டும்.

$$\frac{w_1}{f_1} + \frac{w_2}{f_2} = 0$$

$$\therefore \quad \frac{\cdot 2}{f_1} + \frac{\cdot 4}{f_2} = 0$$

$$\therefore \quad \frac{1}{f_1} = -\frac{2}{f_2}$$

$$\therefore \quad f_2 = -2f_1$$

மேலும்,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

$$\frac{1}{20} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{2f_1}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{2f_1} = \frac{1}{20}$$

$$\therefore \quad f_1 = 10 \text{ செ. மீ.}$$

$$f_2 = -2f_1$$

$$= -20 \text{ செ. மீ.}$$

ஆகவே, 10 செ. மீ. குவியத்தூரமுள்ள க்ரௌவுன் கண்ணுடியாலாகிய ஒரு குவி வில்லையையும் 20 செ. மீ. குவியத்தூரமுடைய ஒரு ஃபிளிண்ட் கண்ணுடியாலான குழி வில்லையையும், ஒட்டி இணைக்க வேண்டும்.

3. ஒரு தொலைநோக்கியின் பொருளருகு வில்லை, நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய இரு வில்லைகளின் தொகுப்பாகவும், 150 செ. மீ. குவியத் தூரமுடையதாகவும் இருக்கின்றது. இரு வில்லைகளில் ஒன்று 1·6 விலகெண்ணை உடைய, சமதளக் குழிவில்லை; மற்றது, 1·5 விலகெண் உடைய இருபுறக் குவிவில்லை. அவைகளின் பருப்பொருள்களின் பிரிதிறன்கள் முறையே 0·027, 0·018 என்றால் அவ் விரு வில்லைகளின் வளைவு ஆரங்களைக் காண்.

விடை :

$$\frac{0{\cdot}018}{f_1} + \frac{0{\cdot}027}{f_2} = 0$$

எனவே,

$$f_2 = -\frac{0{\cdot}027 \times f_1}{0{\cdot}018}$$

$$= -\frac{3}{2} f_1$$

மேலும்,

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{f_1} - \frac{2}{3f_1} = \frac{1}{150}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{3f_1} = \frac{1}{150}$$

$$f_1 = 50 \text{ செ. மீ.}$$

$$f_2 = \frac{-3}{2} \times 50$$

$$= -75 \text{ செ. மீ.}$$

இருபுறக் குவிவில்லையின் குவியத்தூரம் $f_1=50$ செ. மீ. சமதளக்குழி வில்லையின் குவியத்தூரம், $f_2=75$ செ. மீ.

மேலும்,

$$\frac{1}{f_2}=(\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

$$-\frac{1}{75}=(1\cdot6-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{\alpha}\right)$$

$$\therefore \quad R_1=-45 \text{ செ. மீ.}$$

குழிவில்லையும், குவிவில்லையும் ஒன்றையொன்று ஒட்டி இருப்பதால், இருபுறக் குவிவில்லையின் ஒரு வளைவு ஆரம் $R_1$ ஆகும். மற்றது $R_3$ என்றால்,

$$\frac{1}{f_2}=(\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_3}\right)$$

$$\therefore \quad \frac{1}{50}=(1\cdot5-1)\left(\frac{1}{45}+\frac{1}{R_3}\right)$$

$$\therefore \quad \frac{1}{R_3}=\frac{1}{25}-\frac{1}{45}$$

$$\therefore \quad R_3=56\cdot25 \text{ செ. மீ.}$$

4. முறையே 6 செ. மீ., 2 செ. மீ. குவியத்தூரங்களுடைய ஒரே பருப்பொருளாலான இரு, இருபுறக் குவிவில்லைகளின் தொகுப்பு ஒரு நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாக அமையவேண்டுமானால், அவைகளுக்கிடையே உள்ள தொலைவு என்ன இருக்கவேண்டும் ?

விடை :

$$f_1=6 \text{ செ. மீ.}; \quad f_2=2 \text{ செ. மீ.} \qquad a=?$$

4·18 சமன்பாட்டின்படி

$$a=\frac{f_1+f_2}{2}$$

$$=\frac{6+2}{2}$$

$$=4 \text{ cms.}$$

அவ் விரு வில்லைகளும், ஒன்றிற்கொன்று 4 செ. மீ. தொலைவில் வைக்கப்படவேண்டும்.

பயிற்சி

1. ஓர் ஊடகத்தின் பிரிதிறனைக் காண்பது எவ்வாறு ? நிற மாலையின் தனித்தன்மை என்பதென்ன ?

2. ஒரு முப்பட்டகத்தில், நிறப்பிரிகையைக் காணும் முறையை விவரி. திசை மாற்றமின்றி நிறப்பிரிகைமட்டும், உண்டாக்க இரு முப்பட்டகங்கள் அமைக்கும் முறையை விவரி. அவை எங்குப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன ?

3. வானவில் உருவாகக் காரணம் என்ன ? முதல் நிலை, இரண்டாம் நிலை வானவிற்கள் உண்டாகும் முறையை விவரி.

4. நிறப்பிறழ்ச்சி என்பது என்ன ? இரு வில்லைகளை நிறப் பிறழ்ச்சி நீக்கிய கூட்டமைப்பாகத் தொகுப்பது எவ்வாறு ?

5. $6^\circ$ விலக்குக்கோணமுடைய, ஒரு க்ரொவுன் கண்ணுடி யிலான, முப்பட்டகம், ஃபிளிண்ட் கண்ணுடியிலான மற்றொரு முப்பட்டகத்தோடு நிறப்பிரிகை தோன்ருத வாறு இணைக்கப்பட்டுள்ளது. பின் காணும், அட்ட வணையைக் கொண்டு, ஃபிளிண்ட் கண்ணுடியிலான முப் பட்டகத்தின் விலகு கோணத்தையும் மொத்த திசை மாற்றத்தையும் காண்.

| | விலகு எண் | |
|---|---|---|
| கண்ணுடி | சிவப்பு ஒளி | நீல ஒளி |
| க்ரொவுன் | 1·521 | 1·531 |
| ஃபிளிண்ட் | 1.645 | 1·665 |

6. $P_1$, $P_2$ என்ற இரு முப்பட்டகங்கள், நீல நிறக்கதிரை, முறையே, $6^\circ$, $9^\circ$ கோண அளவும், சிவப்பு நிறக்கதிரை முறையே, $4^\circ$, $7^\circ$ பாகை அளவும் திசைமாற்றச் செய்கிறது. எதன் பிரிதிறன் அதிகம் எனக் காண்.

7. கீழ்க்கண்ட அட்டவணை C, D, F என்ற சூரிய நிறமாலை வரிகளின் முறையே க்ரொவுன், ஃபிளிண்ட் கண்ணுடி களின், விலகு எண்களைக் கொடுக்கிறது. க்ரொவுன் கண்ணுடியிலான ஒரு முப்பட்டகம் $5^\circ$ விலகு கோணம் உடையது எனின், ஃபிளிண்ட் கண்ணுடியிலான முப்பட் டகத்தின் விலகு கோணம் எந்தப் பாகை அளவு இருந் தால், இவ் விரு முப்பட்டகங்களின் தொகுப்பு, D வரிக்குத் திசைமாற்றத்தைக் கொடுக்காமல் இருக்கும் ? இந்தத்

தொகுப்பின், C, F வரிகளுக்கிடையே உள்ள நிறப்பிரிகை எவ்வளவு ?

விலகு எண்

| கண்ணுடி | C | D | F |
|---|---|---|---|
| க்ரௌவுன் | 1·514 | 1·516 | 1·522 |
| ஃபிளிண்ட் | 1·643 | 1·650 | 1·665 |

8. நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய இரு வில்லைகளின் கூட்டமைப்பின் குவியத்தூரம் 100 செ. மீ. அவ் விரு வில்லைகளின் பிரிதிறன்கள் 0·016, 0·024 எனின், அவைகளின் குவியத் தூரங்களைக் காண்.

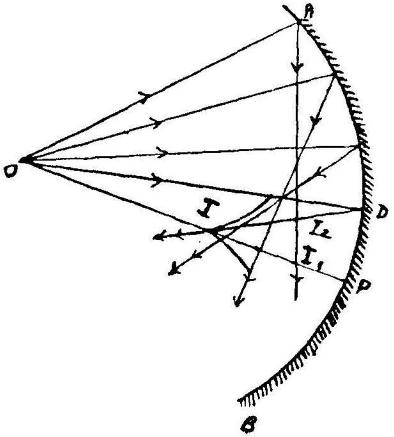
9. தண்ணீரின் விலகெண் சிவப்பு நிறத்திற்கு 1·329 ஆக வு, ஊதா நிறத்திற்கு 1·343 ஆகவும் இருந்தால், முதல்நிலை வானவில்லில் இவ்விரு நிறங்களுக்கிடையே யுள்ள கோணம் எவ்வளவு ?

# 5. பிம்பங்களின் குறைபாடுகள்

## (Defects of the Images)

### 5·1. கோளப் பிறழ்ச்சி (Spherical aberration)

(அ) கோள ஆடிகளின் கோளப் பிறழ்ச்சி: APB என்ற ஒரு குவிபரப்பை எதிரொளிப்புத் தளமாகக் கொண்ட இடையிடம் மிகையாக உள்ள, ஒரு குவி ஆடியின் முதன்மை அச்சில் O என்ற ஒரு புள்ளிப்பொருள் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றது. அந்தப் பொருளின் பிம்பத்தைக் காண, அச்சருக்குக் கதிர் ஒன்றையும் ஓரக் கதிர் ஒன்றையும் எடுத்துக்கொள்வோம். ஒரு படுகதிருக்கான எதிரொளிப்புக் கதிரைக் காண, படுகோண அளவே உடைய எதிரொளிப்புக் கோணம் அமையுமாறு ஒரு நேர்கோடு வரைய வேண்டும்.




படம் 5·1

இவ்வாறு வரையப்பட்ட OA என்ற படுகதிரின் எதிரொளிப்புக் கதிர், முதன்மை அச்சை, $I_1$ என்ற புள்ளியில் தொடுகிறது (படம் 5·1).

OD என்ற அச்சருகு படுகதிரின் எதிரொளிப்புக் கதிர் முதன்மை அச்சை I யில் தொடுகிறது. இவ்விரண்டு கதிர்களும் ஒன்றையொன்று $I_2$ என்ற புள்ளியில் வெட்டுகின்றன. இதுபோலவே P க்கும் A க்கும் இடையில் உள்ள படுகைப் புள்ளிகளுக்கு வரையப் படும் ஒவ்வொரு படுகதிருக்கான எதிரொளிப்புக் கதிரும், முதன்மை அச்சை, I க்கும் $I_1$ க்குமிடையே தொடுகிறது. மேலும், இந்த எதிரொளிப்புக் கதிர்கள் ஒன்றையொன்று வெட்டும் புள்ளிகள் அனைத்தையும் ஒருவகையில், Oவின் பிம்பமாகத்தான் கொள்ள வேண்டும். இந்தப் புள்ளிகள் யாவும் Iயை வளைவிடமாகக் கொண்ட ஒரு வளைவு கோடாக அமையும். படம் 5·1, ஒரு கோளப் பரப்பின் வெட்டுத் தோற்றமாதலால், கோள ஆடியின் முழுப் பரப் பையும் நோக்குமிடத்து இந்த வளைவுப் பரப்புக் காஸ்டிக் புறப்பரப்பு (caustic surface) எனப்படும். குவி ஆடிகளிலிருந்து எதிரொளிக் கப்படும் எல்லாக் கதிர்களும், இந்தப் பரப்பைத் தொட்டுச் செல்லும்.

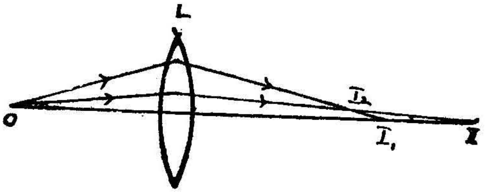
O என்ற புள்ளிப் பொருளின் பிம்பம் ஒரு புள்ளியாக அமை யாமல், $II_1$ என்ற ஒரு சிறு கோடாக அமையும். இந்தக் குறைபாடு அச்சுக் கோளப் பிறழ்ச்சி (axial spherical aberration), எனப்படும்.

I என்ற இடத்தில் ஒரு திரையை வைத்தால் அங்கு ஒரு வட்ட வடிவமான பிம்பம் தென்படும். அவ் வட்டத்தின் மையம் பொலிவு மிக்கதாயும், மையத்திலிருந்து பரிதி நோக்கிச் செல்லச் செல்லப் படிப்படியாகப் பொலிவு குன்றியும் காணப்படும். I யிலிருந்து ஆடி மையத்தை நோக்கித் திரையை நகர்த்தினால் பிம்ப வட்டத்தின் மையப்பகுதிகளில் பொலிவு படிப்படியாகக் குன்றி, ஓரப் பகுதிகள் பொலிவு பெறும். திரை $I_1$ என்ற இடத்தில் வைக்கப்படும்பொழுது, பிம்ப வட்டத்தின் மையம், பொலிவு குன்றியும், பரிதிப் பகுதிகள் பொலிவு மிக்கனவாயும் இருக்கும். இவ் விரு இடங்களுக்குமிடையில் ஏதாவது ஓர் இடத்தில் திரை வைக்கப்படும்பொழுது, அவ் வட்டம் முழுவதும், ஒரே அளவு பொலிவு உள்ளதாக இருக்கும். இந்த வட்டத்தை 'தெளிவு வட்டம்' (circle of least confusion) என்கிறோம். இந்தத் தெளிவு வட்டத்தின் ஆரத்தின் அளவே குறுக்களவு கோளப் பிறழ்ச்சி (transverse spherical aberration) யின் அளவாகும்.

(அ) வில்லைகளின் கோளப் பிறழ்ச்சி: ஒரு வில்லையில் அச்சருகு கதிருக்கான குவியத்தூரம், பொதுவாக, ஓரக் கதிரின் குவியத்தூரத்தைவிட அதிகமாக இருக்கும். வில்லையின் இடை யிடம் அதிகமாக உள்ள L என்ற வில்லையின்முன் அதன் முதன்மை அச்சில், O என்ற ஒரு புள்ளி அளவுப் பொருள் வைக்கப்பட் டுள்ளது. Oவிலிருந்து புறப்படும் அச்சருகுக் கதிரொன்று வில்லை

வழி சென்ற பிறகு Iயில் குவிகின்றது (படம் 5·2). மாருக, Oவிலிருந்து புறப்படும் ஓரக் கதிர் $I_1$ ல் குவிகின்றது. இவ் விரண்டு கதிர்களும் ஒன்றையொன்று $I_2$வில் தொடுகின்றன. இவ்வாறே Oவிலிருந்து புறப்படும் எந்த இரு கதிர்களும், வில்லைவழி சென்ற பிறகு வெவ்வேறு புள்ளிகளில் ஒன்றையொன்று தொடுகின்றன. இப் புள்ளிகள் யாவும் Iயை வளைவிடமாகக் கொண்ட ஒரு வளை கோடாக அமையும். படம் 5·2 ஒரு வெட்டுத் தோற்றம், எனவே, வில்லை முழுமைக்கும் எடுத்துக்கொண்டால் இந்த வளைகோடு ஒரு வளைபரப்பாக இருக்கிறது. இந்த வளைபரப்பை 'காஸ்டிக் புறப்பரப்பு' என்கிறோம்.

O என்ற புள்ளி அளவுப்பொருளின் பிம்பம், ஒரு புள்ளியாக அமையாமல் $II_1$ என்ற நேர்க்கோடாக விழும். இந்தக் குறைபாடு வில்லையின் கோளப் பிறழ்ச்சி எனப்படுகின்றது. $II_1$ன் நீளம் வில்லையின் அச்சுக் கோளப் பிறழ்ச்சி எனப்படும்.




படம் 5·2

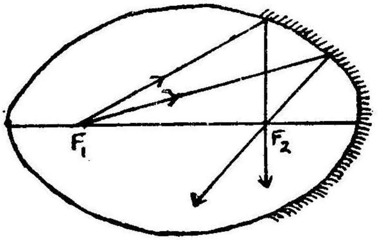
Iயில் ஒரு திரையை வைத்தால் Oவின் பிம்பம் ஒரு வட்டமாகத் தெரியும். Iயில், மையத்தின் பொலிவு மிகுதியாகவும், பரிதிப் பகுதி களில் படிப்படியாகப் பொலிவு குன்றியும் தோன்றும். Iயிலிருந்து, $I_1$ஐ நோக்கித் திரையை நகர்த்திஞல் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் பிம்பத்திற்கான வட்டம் முழுமையும், ஒரே சீரான பொலிவுள்ளதாக இருக்கும். இந்த வட்டம் தெளிவு வட்டம் எனப்படுகின்றது. இந்தத் தெளிவு வட்டத்தின் ஆர அளவு குறுக்களவு கோளப் பிறழ்ச்சியின் அளவாகும்.

(இ) கோள ஆடிகளில் கோளப் பிறழ்ச்சியை நீக்கும் முறை : ஆடி, அதன் மையத்தைச் சுற்றியுள்ள சிறிய பரப்பைமட்டும் கொண்டதாஞல் கோளப்பிறழ்ச்சி நீக்கப்பட்டிருக்கும். மிகுந்த ஆடிப்பரப்பை உடைய எந்தக் கோள ஆடிகளிலும், கோளப் பிறழ்ச்சி ஏற்படுவதைத் தவிர்க்க இயலாது. எனினும், ஆடிக்கு முன், குறிப்பிட்ட ஒரு தொலைவில் வைக்கப்பட்ட பொருளைப் பொறுத்தவரையில், அதற்கான பிம்பம் கோளப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாக இருக்கும் வகையில் ஆடிப்பரப்பை உருவாக்கலாம். அவ்வாருன பரப்புகள் அப்ளநாட்டிக் பரப்புகள் (aplanatic surfaces) எனப்

படும். அந்தப் பரப்புகளுக்குமுன், கோளப் பரப்புகள் நீங்கும், வண்ணம் வைக்கப்படும் பொருள், அதன் பிம்பம், அவைகள் அமையும் குறிப்பிட்ட புள்ளிகள், 'அப்ளநாட்டிக் புள்ளிகள்' எனப் படும்.

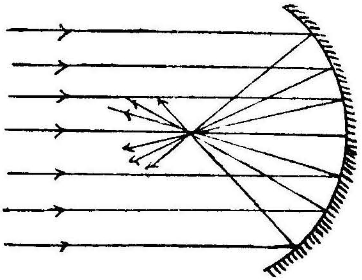
சில அப்ளநாட்டிக் ஆடிப் பரப்புகள் :

(i) நீள்வட்ட ஆடி (Ellipsoidal mirrors): ஒரு நீள்வட்ட ஆடியின் இரு குவியங்களில், ஏதாவது ஒன்றில் வைக்கப்படும் ஒரு பொருளின் பிம்பம் மற்றோர் குவியத்தில் விழும். அச்சருகு கதிர், ஓரக்கதிர், அவற்றிற்கு இடைப் பட்ட கதிர் இவை யாவும், படம் 5.3-ல் காட்டியவாறு $F_2$ வில் விருந்து புறப்பட்டால் $F_1$ல் குவியும் எனவே, $F_1$ ம், $F_2$வும் அப்ளநாட்டிக் புள்ளிகள் எனப் படும்.




படம் 5·3

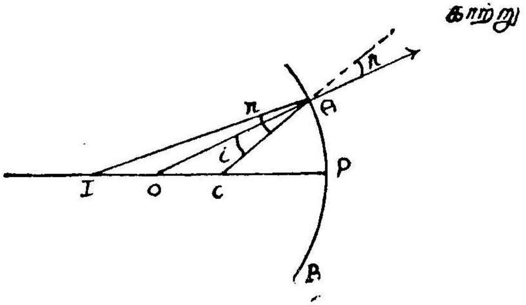
(ii) நீள் பரவளைய ஆடி (Parabolic mirrors): இணைக் கதிர்கள், ஒரு நீள் பரவளை பரப்பு மிகுதியாக உள்ள ஓர் ஆடியின் மீது விழுந்து அவை எதிரொளிக்கப்பட்டால், எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர்கள், நீள்பரவளைய பரப்பின், குவியத்தில் குவிகின்றன. எனவே, ஒரு நீள்பரவளைய ஆடியின், அப்ளநாட்டிக் புள்ளிகள், அதன் குவியத்திலேயும் முடிவிலாத் தொலைவிலேயும் அமையும் (படம் 5·4).



படம் 5·4

(ஈ) விலகு கோள பரப்பின் அப்ளநாட்டிக் புள்ளிகள் : APB என்பது C யை வளைவு மையமாகக்கொண்ட R வளைவு ஆரமுடைய ஒரு கோளப் பரப்பின் குறுக்குவெட்டுத் தோற்றமாகும் (படம் 5·5). O என்ற ஒரு புள்ளிப்பொருள் முதன்மை அச்சின் மீது P யிலிருந்து $R/\mu$ என்ற தொலைவில் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். ஒளிக்கதிர் $\mu$ விலகெண் உள்ள ஓர் அடர்மிகு ஊடகத்திலிருந்து காற்றுகிய ஊடகத்திற்குச் செல்வதாக இருக் கட்டும். OA என்னும் கதிர் A என்ற படுகைப்புள்ளியில் '$i$' படுகோணத்தில் விழுந்து '$r$' விலகுக் கோணத்தில் காற்றில் செல்கிறது எனக் கொள்வோம்.

$$\mu = \frac{\sin r}{\sin i}$$




படம் 5·5

$$= \frac{\sin \angle IAC}{\sin \angle OAC} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad 5{\cdot}1$$

CAO என்ற முக்கோணத்தில்,

$$\frac{CA}{\sin AOC} = \frac{CO}{\sin OAC}$$

$$\therefore \quad \frac{CA}{CO} = \frac{\sin AOC}{\sin OAC}$$

$$\frac{R}{R/\mu} = \frac{\sin AOC}{\sin OAC}$$

$$\mu = \frac{\sin AOC}{\sin OAC} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad 5{\cdot}2$$

சமன்பாடுகள் (5·1)ஐயும் (5·2)ஐயும் ஒப்பிட்டால்,

$$\angle AOC = \angle IAC$$

AIO என்ற முக்கோணத்தில்,

$$\angle AOC = \angle OIA + \angle IAO$$

சமன்பாடு (5·3) இன்படி,

$$\angle IAC = \angle OIA + \angle IAO$$

$$\angle OIA = \angle IAC - \angle IAO$$

$$= \angle OAC$$

IAC என்ற முக்கோணத்தில்,

$$\frac{IC}{\sin IAC} = \frac{CA}{\sin OIA}$$

$$\therefore \quad \frac{IC}{CA} = \frac{\sin I\hat{A}C}{OIA}$$

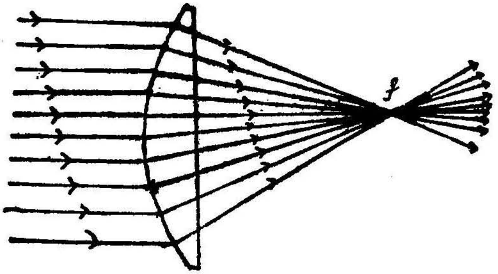
$$\frac{IC}{R} = \mu$$

$$\therefore \quad IC = \mu R \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad 5{\cdot}3$$

IC என்பது பிம்பத்திற்கும், வளைவு மையத்திற்கும் இடைப் பட்ட தொலைவு, படுகோணம் யாதாக இருப்பினும், இந்தத் தொலைவு மாறாது. ஏனெனில், கொடுக்கப்பட்ட கோளப் பரப்பில் $\mu R$, $R/\mu$ இவைகள் மாறாத எண்களாகும். ஆகையால், Oவிலிருந்து புறப்படும் எல்லாக் கதிர்களும், அவற்றின் படுகோணம் யாதாயினும், Iயிலிருந்து வருவதுபோல் தோன்றும். எனவே, இவ் விரு புள்ளிகளும், அந்தக் கோளப்பரப்பின் அப்ளநாட்டிக் புள்ளிகளாகும்.

பிம்பங்களைக் குறைபாடின்றிக் காண நுண்ணோக்கிகள் உருவாக் கப்படும்பொழுது, கோளப் பிறழ்ச்சியை நீக்க, மேற்சொன்ன முறையைப் பயன்படுத்துகிறோம்.

(உ) வில்லைகளில் கோளப் பிறழ்ச்சி நீக்கும் முறை: ஓரக் கதிர்கள், அச்சருகுக் கதிர்களைவிட மிகுதியாகக் குவிவதே வில்லை களில் கோளப் பிறழ்ச்சி தோன்றக் காரணம் எனப் பார்த்தோம். ஆகவே, ஓரக்கதிர்களின் குவியும் தன்மையை ஏதாவது ஒரு வகையில் சிறிது குறைத்தால், ஓரக் கதிர்களும், அச்சருகுக் கதிர் களும், அருகருகே குவியும்படி செய்யலாம். ஒரு முப்பட்டகத்தில் படுகதிரும், விடுகதிரும் அவற்றிற்கான விலகு பரப்புகளுக்குச் சம அளவில் சாய்ந்திருந்தால், திசைமாற்றம், சிறும அளவாக இருக்கும்




படம் 5·6

எனப் பார்த்தோம். வில்லையும் பல சிறு முப்பட்டகங்களின் தொகுப்பு ஆதலால், இதே முறையைப் பயன்படுத்தி, ஓரக் கதிர்கள்

வில்லையில் விழுந்து வெளியேறும்பொழுது அவற்றின் படுகதிரும், விடுகதிரும் வில்லையின் இரு பரப்புகளுக்கும் சம அளவில் சாய்ந்திருக்குமாறு வில்லையை அமைக்கலாம். அவ்வாறிருந்தால், ஓரக் கதிர்களின் திசைமாற்றமும், சிறும அளவாக இருக்கும். எனவே, கோளப் பிறழ்ச்சியும் சிறும அளவாக இருக்கும். படம் 5·6 அவ்வாறு அமைக்கப்பட்ட ஒரு லென்சுவழி செல்லும் கதிர்கள் குவியும் விதத்தைக் காட்டுகிறது.

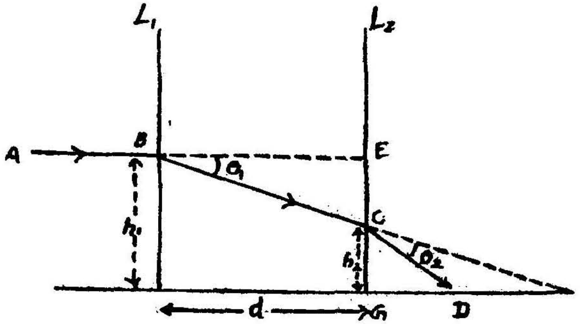
இவ்வாறு நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்குவதற்காக, சிறப்பாக உருவாக்கப் பட்ட வில்லைகள் 'கோளப் பிறழ்ச்சி நீக்கிய வில்லைகள்' (cross lenses) எனப்படும். இவற்றின் இரு வளைவு ஆரங்களின் தகவு பின்கண்டவாறு அமைந்திருக்கும்.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{-\mu\,(2\mu+1)}{(2\mu^2-\mu-4)}$$

எனவே, 10·5 விலகு எண் உடைய க்ரௌவுன் கண்ணாடியிலான வில்லையின் வளைவு ஆரங்கள் $R_2 : R_1 :: 6 : 1$ என்ற முறையில் இருக்கவேண்டும். 1·6 விலகெண் உடைய ஃபிளிண்ட் கண்ணாடி யினாலான வில்லையென்றால், அந்த வில்லை ஒரு சமதள-குழிலென்சாக இருக்கவேண்டும்.

(ஊ) ஒன்றிற்கொன்று இடைவெளிவிட்டு அமைக்கப்பட்ட இரு வில்களில் கோளப் பிறழ்ச்சியைக் குறைக்கும் முறை: $L_1$, $L_2$, என்ற இரு குவி வில்லைகள் ஒன்றிற்கொன்று $d$ இடைவெளியில் ஒரே அச்சில் இருப்பதாகக் கொள்வோம்.

(படம் 5·7) அவைகளின் குவியத் தூரங்கள் முறையே $f_1$, $f_2$ வாக இருக்கட்டும். AB என்ற அச்சிணைக் கதிர் ஒன்று முதன்மை அச்சி லிருந்து $h_1$ உயரத்தில் $L_1$ஐ அடையட்டும். முதல் லென்சினால்




படம் 5·7

குவிக்கப்பட்ட கதிர், இரண்டாவது லென்சை, முதன்மை அச்சி லிருந்து $h_2$ உயரத்தில் தொடுகிறது.

முதல் லென்சினுல் ஏற்பட்ட திசைமாற்றம் $\theta_1$ என்ருல்,

$$_1 = \frac{h_1}{f_1}$$

இரண்டாவது லென்சினுல் ஏற்பட்ட திசை மாற்றம் $\theta_2$ என்ருல்,

$$\theta_2 = \frac{h_2}{f_2}$$

$$h_2 = CG$$

$$= EG - EC$$

$$= h_1 - d\theta_1$$

$$\therefore \quad \theta_2 = \frac{h_1}{f_2} - \frac{d\theta_1}{f_2}$$

$$= \frac{h_1}{f_2} - \frac{dh_1}{f_1 f_2}$$

கோளப் பிறழ்ச்சி சிறுமமாக இருக்கவேண்டுமாயின், $\theta_1 = \theta_2$ ஆக இருக்கவேண்டும்.

$$\frac{h_1}{f_1} = \frac{h_1}{f_2} - \frac{dh_1}{f_1 f_2}$$

அல்லது $$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

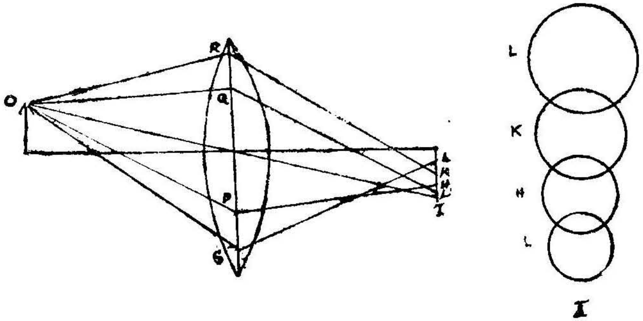
$$d = f_1 - f_2$$

ஆகவே, இரு வில்லைகளுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு, $f_1 - f_2$ வாக இருக்குமேயாயின், எந்த ஒரு படுகதிருக்கான திசைமாற்றமும் சிறுமமாக இருக்கும்.

5·2. கோமா (Coma): ஒரு வில்லையில், கோளப் பிறழ்ச்சி நீக்கிய பின்பும், முதன்மை அச்சின்மேல் இல்லாமல், அதினின்று சற்றுத் தள்ளி அமைந்திருக்கும் பொருளின் பிம்பம், ஒரு புள்ளியாக இருக்காது. அது, படிப்படியாக அதிகரிக்கும் ஆரத்தைக் கொண்டதாகவும், பொதுமையம் அற்றதாகவும் உள்ள தொடர்ச்சியான வட்டங்களாக, ஒரு வால் நட்சத்திரம்போல் இருக்கும். ஒரு புள்ளிப் பொருளின் பிம்பம் மற்றொரு புள்ளியளவாக விழாமல் இவ்வாருக உருவாவதே வில்லையின் கோமா குறைபாடு எனப்படும்.

O என்ற புள்ளிப்பொருள் ஒன்று, முதன்மை அச்சிலிருந்து சற்று விலகியுள்ள ஓர் இடத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ளது (படம் 5·8)

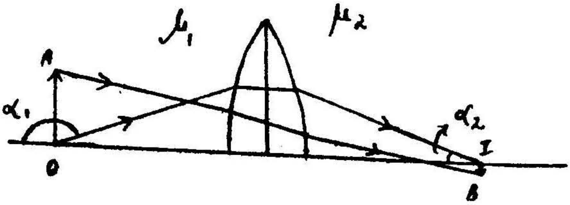
அச்சருகு கதிர் ஒன்று Oவின் பிம்பத்தை I என்ற இடத்தில் தோற்றுவிக்கிறது எனக் கொள்வோம். O வை ஒளிமையம் வழியாக I யோடு சேர்த்தால் அது ஒரு துணை முதன்மை அச்சாக விளங்கும்.




படம் 5·8

இந்த அச்சிற்குச் சம அளவே சாய்ந்துள்ள OP, OQ என்ற இரு கதிர்களைக் கருத்தில் கொண்டால்,OPயைவிட OQவின் படுகோணம் அதிகம். எனவே, OQவின் விடுகதிர் அதிக அளவில் குவியும். OP என்னும் ஓரக் கதிரினால் உருவான பிம்பம் Hலும் OQ என்னும் ஓரக் கதிரினால் உருவாகும் பிம்பம் L விலும் உருவாகிறது. இவ் விரு பிம்பங்களும், பொலிவு குன்றிய சிறு வட்டங்களாகவும், அதன் ஆரங்கள், பொது மையம் அற்றவாகவும் படிப்படியாக ஆரம் அதிகரிப்பனவாகவும் படம் 5·8ல் காட்டியவாறு அமைகிறது. I என்னும் புள்ளி, பொலிவு மிக்கதாகவும், வட்ட, ஆரம் அதிகரிக்க அதிகரிக்கப் படிப்படியாகப் பொலிவு குன்றியும் ஒரு வால் நட்சத்திரம்போல் பிம்பம் தோன்றுகிறது. லென்சின் இந்தக் குறைபாடு கோமா எனப்படும்.

5·2. (அ) கோமா குறைபாட்டை நீக்கும் முறை: பொருள், பிம்பம் இவைகள் முறையே $\mu_1$, $\mu_2$ விலகெண் உடைய இரு ஊடகங்களிலும் அமைந்திருக்கின்றன எனக் கொள்வோம். அவைகளின் உயரங்கள் முறையே $y_1$, $y_2$ வாகவும் இருந்தால்,



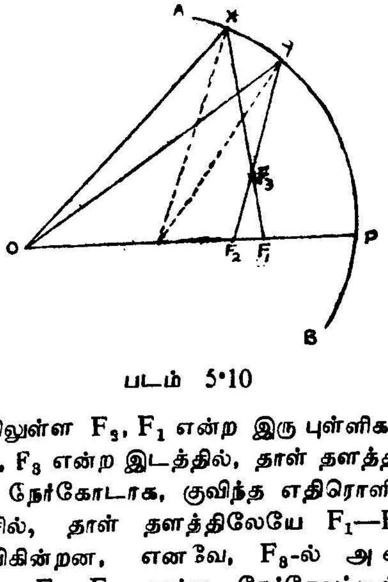

படம் 5·9

$$\mu_1 y_1 \sin \alpha_1 = \mu_2 y_2 \sin \alpha_2$$

என்றிருக்கும்படி, $\alpha_1$, $\alpha_2$ என்ற இரு விரிகோணங்களும் (படம் 5·9) அமையுமானால் கோமா நீக்கிய பிம்பம் கிடைக்கும். இதுவே 'ஆபே சைன் நிபந்தனை' Abbe's sine condition) எனப்படும்.

5·3. அஸ்டிக்மேட்டிஸம் (Astigmatism):

(அ) குவி ஆடி: APB என்பது ஒரு குவி ஆடியின் எதிரொளிப்புப் பரப்பாக இருக்கட்டும். OXY என்ற ஒளிக்கற்றை ஆடிப் பரப்பிலிருந்து எதிரொளிக்கட்டும். அவை ஒன்றையொன்று $F_3$யில் சந்தித்து மீண்டும் விரிந்து முதன்மை அச்சில் $F_1$, $F_2$ என்ற புள்ளிகளில் தொடுகின்றன. OPயை அச்சாகக் கொண்டு (படம் 5·10) படத்தைச் சிறிதளவு சுழற்றினால் எதிரொளிப்புப் பரப்புக்குமுன் XOY என்ற முக்கோணக் கதிர்கள், ஒரு கூம்புக் கற்றையாக இருக்கும். மேலும், $F_3$ என்ற புள்ளி, தாள் தளத்திற்குச் செங்குத்தான தளத்தில் அமைந்த ஒரு சிறிய கோடாக விளங்கும். எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒவ்வொரு கதிரும் இந்தக் கோட்டின் வழியாகச் சென்று,



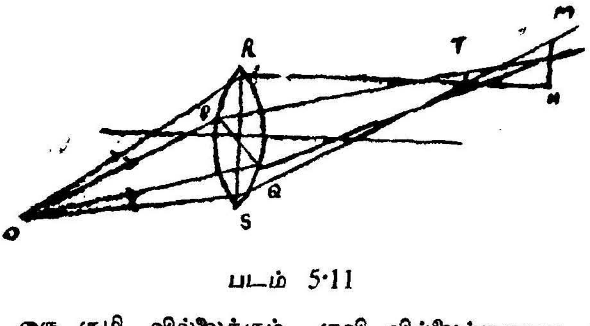

படம் 5·10

முதன்மை அச்சிலுள்ள $F_3$, $F_1$ என்ற இரு புள்ளிகளுக்குமிடையே விழும். எனவே, $F_3$ என்ற இடத்தில், தாள் தளத்திற்கு நேர்க்குத்தான தளத்தில், நேர்கோடாக, குவிந்த எதிரொளிப்புக் கதிர்கள், முதன்மை அச்சில், தாள் தளத்திலேயே $F_1$—$F_2$ என்ற நேர் கோட்டில் குவிகின்றன. எனவே, $F_3$-ல் அமைந்த நேர் கோட்டிலிருந்து, $F_1$—$F_2$ என்ற நேர்கோட்டிற்குச் செல்லும் கதிர்கள் ஏதாவது ஓர் இடத்தில், இரு தளங்களிலும் சம அகல விரிவு உடையதாக இருக்கும். அந்தக் குறிப்பிட்ட இடத்தில், அமைந்த பிம்ப வட்டம், 'தெளிவு வட்டம்' எனப்படும். எதிரொளிப்புக் கதிர்கள் ஒரு புள்ளியில் குவியாத இந்தக் குறை

'ஒரு புள்ளியற்ற' என்ற பொருள்படும்படி, அஸ்டிக்மேட்டிஸம் என்ற கிரேக்க வார்த்தையால் அழைக்கப்படும்.

(ஆ) வில்லை: முதன்மை அச்சிலிருந்து சற்றே தள்ளி ஒரு பொருள் வைக்கப்பட்டிருந்தால், அப் பொருளிலிருந்து புறப்படும் ஓரக் கதிர்களுக்கான குவியத்தூரம், அச்சருகு கதிர்களுக்கான குவியத் தூரத்தைவிடக் குறைந்துவிடுவதன் காரணமாக அஸ்டிக் மேட்டிஸம் என்ற குறைபாடு வில்லையில் தோன்றுகிறது.

O என்ற புள்ளியிலிருந்து புறப்படும் OR, OS என்ற கதிர்கள் வில்லைவழி சென்ற பிறகு, SM, RN என்ற திசைகளில் செல்கின்றன (படம் 5·11). அவை இரண்டும் ஒன்றையொன்று Tயில் சந்திக் கின்றன. RS என்ற நேர்குத்துத் தளத்தில் அமைந்துள்ள இது போன்ற எல்லாக் கதிர்களும், வில்லைவழி விலகிச் சென்றபின், தாள் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக அமைந்து, T வழியே செல்லும் ஒரு நேர் கோட்டில் விழுகின்றன. மாறாக, தாள் தளத்திலேயே அமைந்த PQ என்ற தளத்தில் செல்லும் OPQ என்ற கூம்புக்கற்றை வில்லைவழி சென்றபின் M வழியாகச் செல்லும் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக வைக்கப்படும் திரையில் MN என்ற நேர்கோடாக விழும். இவ் விரு கோடுகளும் ஒன்றிற்கொன்று நேர்குத்தான தளங்களில் இருப்ப தால், இவற்றிற்கிடையே ஏதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில், ஒளி செல்லும் பாதையில் ஒரு திரையை வைக்கும்பொழுது வட்டமான பிம்பம் ஒன்று தென்படும். இந்த வட்டந்தான் தெளிவு வட்டம் எனப்படும். Tக்கும் Mக்கும் இடையே உள்ள தொலைவு வேறுபாடு 'அஸ்டிக்மேட்டிக் தொலைவு வேறுபாடு' எனப்படும். இந்தக் குறைபாட்டைப் பின்வரும் ஏதாவது ஒரு முறையில் குறைக்க முடியும்.



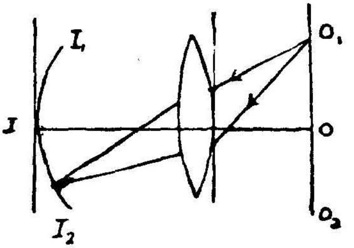

படம் 5·11

(i) ஒரு குழி வில்லைக்கும், குவி வில்லைக்குமான அஸ்டிக் மேட்டிஸம், ஒன்றிற்கொன்று எதிரிடையாக இருப்பதனால் அவ் விரு வில்லைகளை முறையாக இணைக்கலாம்.

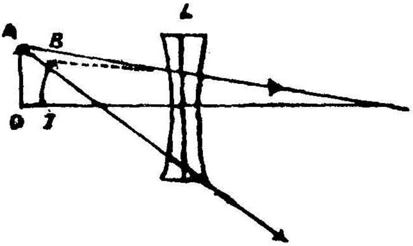
(ii) இரு சமதளக் குவி வில்லைகளை, கணக்கிடப்பட்ட ஒரு குறிப்பிட்ட இடைவெளிவிட்டு அமைப்பதன்மூலம், அவற்றின்வழி உருவாகும் பிம்பத்தின் அஸ்டிக்மேட்டிஸத்தைப் பெரிதளவு குறைக்கலாம்.

(iii) வில்லையின் XY தளங்களுக்கான வளைவு ஆரங்களை வெவ்வேறு அளவுடையனவாக அமைப்பதன்மூலம் வில்லையின் அஸ்டிக்மேட்டிஸத்தைக் குறைக்கமுடியும்.

5·4. வளைவுக் குறைபாடு (curvature) : நீட்சியுடைய பொருள்களுக்கான (extended objects) பிம்பங்கள் வில்லைவழி உருவாகும் பொழுது, இந்தக் குறைபாடு ஏற்படுகிறது. குறைந்த அளவுள்ள பரப்பின்வழியாகமட்டுமே ஒளி புகக்கூடிய வகையில் அமைக்கப்பட்ட ஒரு தடுப்பு (stop) டன் கூடிய L என்ற வில்லைக்குமுன் $O_1 OO_2$ என்ற ஒரு நீட்சிப்பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளது (படம் 5·12 a).



படம் 5·12 (a)



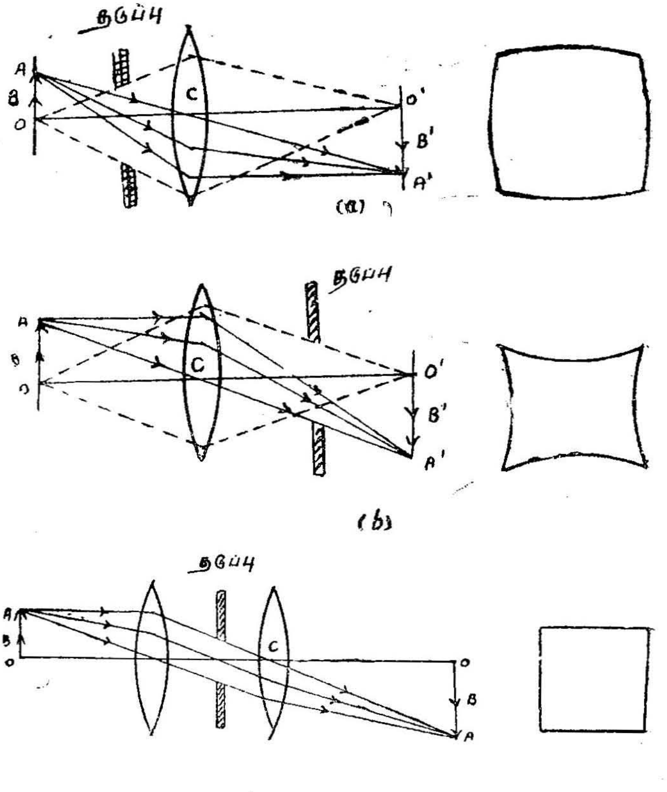
படம் 5·12 (b)

Oவின் பிம்பம், I என்ற இடத்தில் விழுவதாகக் கொள்வோம். $O_1$ம், $O_2$வும் வில்லையிலிருந்து அதிகத் தொலைவில் இருப்பதால், இந்தப் புள்ளிகளுக்கான பிம்பங்கள், வில்லையிலிருந்து I இருக்கும் தொலைவைவிடச் சற்றுக் குறைந்த தொலைவில் விழும். ($u$ அதிகமானால் $v$ குறையும்) எனவே, $O_1 OO_2$வின் பிம்பம், வளைந்து $I_1 II_2$ என்று படத்தில் காட்டியவாறு வளைந்து காணப்படும். குவி வில்லையினால் ஏற்படும் வளைவு நேர்க்குறி உடையதாகவும், குழி வில்லையினால் ஆன வளைவு எதிர்க்குறி உடையதாகவும் (படம் 5·12 b) இருக்கும். எனவே, ஒரு குழி வில்லையையும் குவி வில்லையையும் முறையாக ஒட்டி இணைப்பதன்மூலம் வளைவுக் குறைபாட்டை நீக்க இயலும்.

$f_1$, $f_2$ என்ற குவியத்தூரங்களையும் முறையே $\mu_1$, $\mu_2$ என்ற விலகெண்களையும் கொண்ட இரு வில்லைகள் $\mu_1 f_1+\mu_2 f_2=0$ என்ற நிபந்தனையின்படி அமைக்கப்பட்டிருந்தால், அத் தொகுப்புவழி உருவாகும் ஒரு பொருளுக்கான பிம்பம் வளைவுக் குறைபாடு நீக்கி

யதாக அமையும் என்று பெட்ஸ்வல் (Petzval) என்ற விஞ்ஞானி கண்டார். இதே நிபந்தனையின்படி அமைக்கப்பட்ட வில்லைத் தொகுப்பு, வில்லையின் அஸ்டிக்மேட்டிஸத்தையும் பெரிதளவு குறைக்கிறது. இத்தகைய குறை நீக்கும் முறை, காமிரா வில்லை அமைப்பு முறைகளில் பெரிதும் பயன்படுத்தப்படுகின்றது.

5·5. உருக்குலைவு (Distortion) : ஒரு வில்லையின் முன் வைக்கப்பட்ட பொருளின் ஒவ்வொரு பாகமும் வெவ்வேறு அளவில் உருப்பெருக்கம் அடைந்தால், அதன் பிம்பம் திரிந்து காணப்படும் இதையே வில்லையின் உருக்குலைவுக் குறைபாடு என்கிறோம்.




(c)

படம் 5·13

ஒரு வில்லைக்குமுன் வைக்கப்பட்ட OBA என்ற பொருளின் முன், படத்தில் காட்டியவாறு (5·13 a) ஒரு தடுப்பு வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். Oவிலிருந்து செல்லும் கதிர் ஒளி

மையம் வழியாக நேராகச் செல்கிறது. ஆயினும் A என்ற பகுதியிலிருந்து புறப்படும் கதிர்கள், வில்லையின் அடிப்பாகத்தின் வழியாகத்தான் செல்ல முடியுமாதலால், $u$ வின் மதிப்பு அதிகமாகி உருப்பெருக்கம் $m\left(=\frac{f}{u-f}\right)$ குறைந்து விடுகிறது. பிம்பம், ஓரங்களில் உள்நோக்கிக் குறைந்து படத்தில் காட்டியவாறு அமையும்.

தடுப்பை வில்லைக்கும் திரைக்கும் நடுவில் வைத்தால், (படம் 5·13 b) A யிலிருந்து புறப்படும் கதிர்கள், வில்லையின் மேல்பகுதி வழியாகத்தான் செல்ல முடியுமாதலால், இவற்றிற்கான $v$ யின் மதிப்பு அதிகரிக்கிறது. எனவே, உருப்பெருக்கம் $m\left(=\frac{v-f}{f}\right)$ அதிகரிக்கிறது. ஆகவே, பிம்பத்தின் ஓரங்கள் வெளிப்புறமாக நீக்கப்பட்டுப் படம் (5·13 b)யில் காட்டியபடி அமையும்.

ஒத்த வில்லைகள் இரண்டினை, குறிப்பிட்ட இடைவெளிவிட்டு, அவற்றினிடையே ஒரு தடுப்பை வைத்தால் (படம் 5·13 c) பிம்பத்தின் உருக்குலைவுக் குறைபாட்டை நீக்க இயலும்.

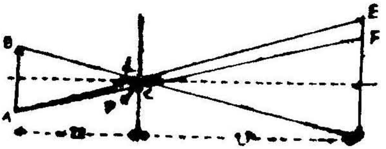
### பயிற்சி

1. ஓர் ஆடியின் கோளப் பிறழ்ச்சி என்றால் என்ன? இந்தக் குறைபாட்டைக் குறைப்பது எவ்வாறு?
2. ஒரு வில்லையின் கோளப் பிறழ்ச்சி என்றால் என்ன? இரு வில்லைகளின் தொகுப்பை, கோளப் பிறழ்ச்சி நீக்கிய வகையில் அமைக்கும் விதத்தை விளக்குக.
3. அப்ளநாடிக் புள்ளிகள் என்றால் என்ன? ஒரு குழி எதிரொளிப்புப் பரப்பிற்கும், கோள விலகு பரப்பிற்கும், அப்ளநாடிக் புள்ளிகளைக் காண்.
4. அஸ்டிக்மாடிஸம், கோமா, வளைவு, மற்றும் உருக்குலைவு போன்ற பிம்பக் குறைகளை விவரி. அவற்றைக் குறைப்பது எவ்வாறு?

# 6. ஒளியியல் கருவிகள்

6·1. ஒளிவிதிகளைப் பயன்படுத்தி அமைக்கப்படும் கருவிகள் ஒளியியல் கருவிகள் எனப்படும். இக் கருவிகளை அமைப்பதன் தலையாய நோக்கம், ஒரு பொருளின் பிம்பத்தைத் தெளிவாகவும், பிறழ்ச்சி இல்லாமலும் உருவாக்குவதேயாம். எனவே, தேவைக்கு ஏற்றவாறு பலவிதமான ஒளியியல் கருவிகள் பயன்படுத்தப்படு கின்றன. அவற்றில் சிலவற்றின் அமைப்பையும் அவை செயல் படும் விதத்தையும் இப் பகுதியில் காண்போம்.

6·2. ஊசித்துளை ஒளிப்படப் பெட்டி (Pin hole camera): வில்லை, ஆடி இவைகளைக் கொண்டு ஒரு பொருளின் மெய் பிம்பத்தைக் காணுதல்போலவே, ஒரு சிறு ஊசித் துளையைப் பயன்படுத்தி ஒரு பொருளின் பிம்பத்தைக் காணலாம். AB என்ற பொருளின் வெவ்வேறு புள்ளிகளிலிருந்து புறப்படும் ஒளிக்கதிர்கள், P என்ற ஓர் ஊசித்துளையின் வழியாகச் சென்று அதன் மறுபக் கத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் வெண்திரையில் ஒரு பிம்பத்தைக் கொடுக்கின்றது (படம் 6·1). இதைத் திட்டவட்டமான ஒரு பிம்பம்




படம் 6·1

என்று கூறமுடியாது. ஏனெனில், அந்தப் பிம்பம், ஒளிக்கதிர்கள் வெவ்வேறு இடத்தில் விழுவதால் ஏற்படும் திட்டுப் போன்ற வெளிச் சத்தின் தொடர் ஆகும். எனவே, திரையை எந்த இடத்தில் வைத்தாலும், அங்கு இதுபோன்ற பிம்பத்தைக் காண இயலும்.

ஊசித்துளையின் இடையிடம் $d$ ஆக இருந்தால் Bயின் பிம்பம், EF என்ற D அளவு விட்டமுள்ள ஒரு திட்டாகத் திரையில் விழுகிறது எனக் கொள்வோம். மேலும் ஊசித்துளை அமைந்

துள்ள இடத்திலிருந்து பொருள் $u$ தொலைவிலும், திரை $v$ தொலை விலும் வைக்கப்பட்டிருந்தால்,

$$\frac{D}{d} = \frac{u+v}{v}$$

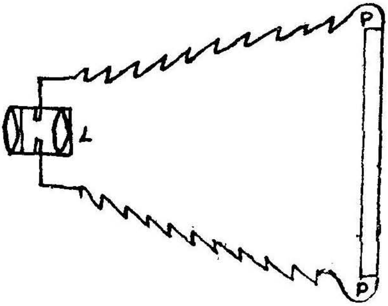
$$\therefore \quad D = \frac{d\,(u+v)}{v}$$

$v$ யைவிட $u$ வின் அளவு மிக அதிகமாக இருந்தால், ஊசித் துளையின் வழியாக, ஒரு தெளிவான பிம்பத்தைக் காண இயலும். மேலும், பொருளும் திரையும் ஊசித்துளைவழியாகச் செல்லும் நேர்கோட்டிற்கு நேர்குத்தாக அமையுமானால், பிம்பத்தின் நீள் உருப்பெருக்கம் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் ஒரே அளவாக இருக்கும். ஆகவே, வளைவு, திரிபு போன்ற குறைபாடுகள் தோன்ற வழியில்லை.

X கதிர்கள் போன்ற, சாதாரண வில்லைகளால் குவிக்கமுடியாத கதிர்களை, தேவைப்பட்ட இடத்தில் குவிக்க இவ்வாறான ஊசித் துளைக் கருவிகளைப் பயன்படுத்தலாம். ஊசித்துளைக் கருவியில் உள்ள மிகப்பெரிய குறை, தேவையான அளவு ஒளி ஊசித்துளை வழி செல்ல முடியாததாகும். தேவையான அளவு ஒளி செல்லா விடில், பிம்பத்தை ஒளிப்படமாக்க முடியாது. மேலும், பிம்பத்தின் நீள் உருப்பெருக்கத்தை மாற்றவேண்டுமாயின், ஊசித்துளைக்கும் திரைக்குமிடையே உள்ள தொலைவை, அதிக அளவிற்கு மாற்ற வேண்டியதாகிறது.

6·3. ஒளிப்படப் பெட்டி (Camera) ; ஊசித்துளைக்குப் பதிலாக ஒரு வில்லையைப் பயன்படுத்துவது எளிது. பொருளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள், வில்லைவழி சென்ற பிறகு ஓர் இடத்தில் குவிக்கப் படும் வில்லையினால் உருவாக்கப்படும் இந்த பிம்பம், பொலிவு மிக்கதாய் உள்ளது. வில்லைவழி செல்லும் ஒளியின் அளவு, பொருளின் முன் வைக்கப்படும் வில்லையின் இடையிடத்தைப் பொறுத்திருக்கும். ஒளிப்பெட்டிக் கருவி என்பது ஒரு வில்லையையோ, அல்லது வில்லைகளின் கூட்டமைப்பையோ முகப்பாகக் கொண்ட உட்புறம் கருநிறம் கொண்ட ஒரு பெட்டியாகும் (படம் 6·2). வில்லைவழி சென்ற கதிர்கள் குவியக்கூடிய இடத்தில், ஒளியை உணரக்கூடிய ஒளிப்படத் தட்டு (photographic plate) ஒன்று திரையாக வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. வில்லைக்கும் ஒளிப்படத் தட்டுக்குமிடையே உள்ள தொலைவைச் சரி செய்யக்கூடிய வகையில் அமைக்கப்பட்ட, ஒரு மடங்கும் தன்மை உடைய தோல் துருத்தி ஒன்று (leather bellows) ஒளிப்படப் பெட்டியாக உதவு கின்றது. வில்லைப் பரப்பின்மீது விழும் ஒளியின் அளவை வரை

யறுக்கக்கூடிய வகையில், வில்லையின் முன்புறம் ஒரு சரி செய்யக் கூடிய தடுப்பு (adjustable stop) வைக்கப்பட்டுள்ளது.



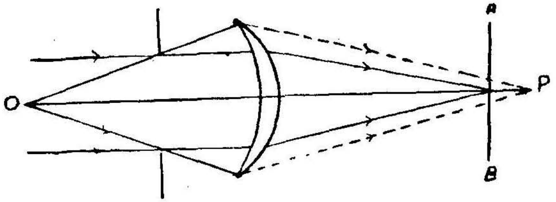

படம் 6·2

ஒளி படக்கூடிய வில்லைப்பரப்பின் இடையிடம் $d$ ஆகவும், அந்த வில்லை அமைப்பின் குவியத்தூரம் $f$ ஆகவும் இருந்தால், $\frac{d}{f}$ என்பது வில்லையின் ஒப்பு இடையிடம் (relative aperture) எனப் படும். $\frac{f}{d}$ என்பது வில்லையின் வேகம் (speed) எனப்படும்.

ஒளிப்படப் பெட்டியின் முன் வைக்கப்பட்ட ஒரு பொருளி லிருந்து செல்லும் ஒளிக்கதிர்கள், வில்லைவழி சென்று ஓர் இடத்தில் குவியும். அந்த இடத்தில் ஓர் திரையை வைத்தால், திரையில் ஒரு தெளிவான பிம்பம் கிடைக்கும். அவ்வாறின்றி, திரையைச் சிறிதளவு முன்நோக்கியோ அல்லது பின்னோக்கியோ நகர்த்தினல், பொருளின் ஒரு புள்ளியிலிருந்து விழும் ஒளிக்கதிர்கள் ஒரு புள்ளியாகக் குவியாமல், ஒரு சிறிய வட்டவடிவமான திட்டாகத் தான் திரையில் விழும். இந்த வட்டங்கள் பெரிதாக ஆக, பிம்பமும் தெளிவற்றதாகும். ஆயினும், திரையின் சரியான இடத்திலிருந்து, முன்னும் பின்னும் சிறு தொலைவுகளில் அமைந்த இடங்களில், இந்த வட்டங்கள் மிகச் சிறியனவாகத்தான் இருக்கும். எனவே, இவ் விடங்களில், வைக்கப்படும் திரையில் விழும் பிம்பம், தெளிவு குறைந்து காணப்படாது. இவ் விரு இடங்களின் இடைப்பட்ட தொலைவை வில்லையின் குவிய ஆழம் (depth of focus) என்கிறோம்.

சாதாரண ஒளிப்படப்பெட்டி இயங்கும் முறையைப் படம் 6·3 விளக்குகிறது. ஒளிப்படக் கருவியின் முகப்பில் ஒரு மெல்லிய குவி குழிவில்லை பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. அதன் முன்பு சரி செய்யக்கூடிய தடுப்பு ஒன்றும் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. வில்லையின் இடையிடத்தைத் தேவையான அளவுக்குச் சரிசெய்து கொள்ள

இந்தத் தடுப்பு பயன்படுகிறது. எண்ணிலாத் தொலைவிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள், AB என்ற தளத்தில் குவிவதாக வைத்துக் கொள்வோம். O என்ற புள்ளியிலிருந்து, செல்லும் ஒளிக்கதிர்கள்,




படம் 6·3

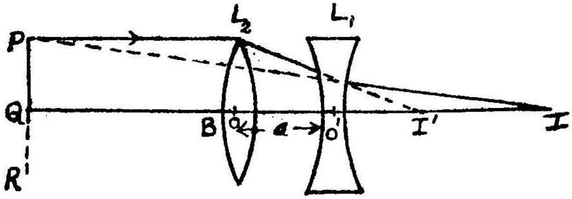
வில்லைமுன் வைக்கப்பட்டிருக்கும் தடுப்பினுல் வரையறுக்கப்பட்ட அளவு விரிந்து, வில்லைவழி சென்ற பிறகு P யில் குவிகின்றன. எனினும், இதே கதிர்கள் AB என்ற தளத்தில் ஒரு சிறுவட்டமான ஒளியைக் கொடுக்கும். தடுப்பின் அளவைச் சரிசெய்வதன்மூலம் AB என்ற தளத்திலிருந்து, P என்னும் புள்ளி, வில்லையின் குவிய ஆழத்திற்குள் விழுமாறு அமைத்துக்கொண்டால், AB என்ற தளத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் ஒளிப்படத் தட்டில் பிம்பம் தெளிவாக விழுகின்றது.

ஓர் ஒளிப்படப் பெட்டியின் ஒளிப்படத் தட்டு அமைந்துள்ள பகுதியில், ஏற்படும் ஒளிவிலக்கம், $\frac{d_2}{f_2}$ ஆகும். எனவே, $\frac{d}{f}$ என்ற ஒப்பு இடையிடத்தைப் பொறுத்துத்தான் ஒளிப்படத் தட்டின் ஒளி விளக்கம் அமைகிறது. 3 செ. மீ. இடையிடமும், 24 செ. மீ. குவியத் தூரமும் கொண்ட ஒரு வில்லையின் ஒப்பு இடையிடம், 3/24 அல்லது 1/8 ஆகும். இதுபோலவே, 6 செ. மீ. இடையிடமும், 48 செ. மீ. குவியத்தூரமும் கொண்ட ஒரு திரைப்படத் திரையின் ஒப்பு இடையிடம் 6/48 அல்லது 1/8 ஆகும். எனவே, இவை இரண்டும் ஒரே அளவு வேகம் உடையனவாக இருக்கின்றன. ஆகவே, இவ் விரு வில்லைகளும் ஒரே அளவுக் காட்சி நேரம் (exposure time) உடையனவாக இருக்கின்றன. இடையிடம் குறிப்பிட்ட அளவு அதிகரிக்குமேயாயின், வில்லையின் ஒளிதிரட்டும் சக்தியும் அதிகரிப்பதால், காட்சி நேரத்தை அதற்கு ஈடான வகையில் குறைத்து, ஒளிப்படத்தட்டில் ஒளிவிளக்கம் ஒரே அளவு இருக்கும்படி செய்துகொள்ளவேண்டும்.

6·4. தொலைபட வில்லை (Telephoto lens): பிம்பத்தின் உருப்பெருக்கம், பொருள், வில்லையில் கொண்டுள்ள கோணத்தைப் பொறுத்து இருப்பதால், தொலைதூரத்திலுள்ள பொருள்களின்

பிம்பங்கள், மிகச் சிறியனவாகத்தான் இருக்கமுடியும். எனவே, பிம்பத்தின் உருவைப் பெருக்க மிக அதிக அளவு, குவியத்தூரம் கொண்ட வில்லை தேவைப்படுகிறது. அதே நேரத்தில், பிம்பம் குறைபாடற்றதாகவும் அமையவேண்டும். தொலைதூரத்திலுள்ள பொருளின் பிம்பம் காணவேண்டி, வில்லை ஒன்றை ஒற்றையாக ஒளிப்படக் கருவியில் பொருத்தினால், கருவியின் நீளம் மிக அதிகமாக ஆகிவிடும். பிம்பமும் குறைபாடு உடையதாக இருக்கும். எனவே, ஒரு குழி வில்லையையும், ஒரு குவி வில்லையையும்கொண்ட ஒரு கூட்டமைப்பு பயன்படுத்தப்படுகிறது. இந்தக் கூட்டமைப்புதான் தொலைப்பட வில்லை என அழைக்கப்படுகின்றது.

குழி வில்லை, ஒளிப்படப் பெட்டியில் வில்லை பொருந்தவேண்டிய இடத்தில் அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது (படம் 6·4). குவி வில்லை ஒன்று அதன்முன் வைக்கப்பட்டுள்ளது.




படம் 6·4

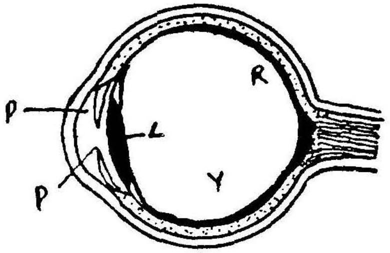
$L_1$, $L_2$ என்ற இவ் விரு வில்லைகளின் குவியத்தூரங்கள் முறையே $f_1$, $f_2$ ஆகவும் அவற்றிற்கிடையே உள்ள தொலைவு $a$ ஆகவும் இருந்தால், இந்தத் தொகுப்பின் குவியத்தூரம்,

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}-\frac{a}{f_1 f_2}$$

$L_2$ என்ற வில்லைமட்டும் ஒளிக் கதிர்களின் முன்பு வைக்கப்பட்டிருந்தால், அக் கதிர்கள் $I'$ என்ற புள்ளியில் குவிந்திருக்கும். ஆயினும், ஒளிக்கதிர்களின் வழியில் $L_1$ என்ற மற்றொரு வில்லை வைக்கப்பட்டிருப்பதால், அந்தக் கதிர்களின் பாதை சற்றே விரிவடைந்து I யில் குவிகிறது. எனவே, இவ் விரு வில்லைகளின் கூட்டமைப்பு, I என்ற இடத்தில் ஒளிக்கதிர்களைக் குவியச்செய்கிறது. ஒற்றையான குவி வில்லையைக் கொண்டே, இந்த I என்ற புள்ளியில் ஒளிக்கற்றையைக் குவியச்செய்ய வேண்டுமாயின், அந்த வில்லையின் குவியத்தூரம் BI ஆக இருக்க வேண்டும் என்பது விளங்கும். ஆயினும் இந்தக் கூட்டமைப்பின் உதவியால், திரைக்கும் வில்லைக்குமிடையே உள்ள தொலைவு, பெரிதும் குறைக்கப்படுகின்றது. மேலும், இவ் விரு வில்லைகளின் கூட்டமைப்பை நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாகவும், கோளப் பிறழ்ச்சி அற்றதாகவும் அமைக்கமுடியும்.

6·5. **கண் :** கண் ஓர் ஒளிப்படப்பெட்டியை ஒத்திருக்கிறது. ஒளிப்படப்பெட்டியைப் போலவே, தன் இடையிடத்தை, தேவைக்கேற்பச் சரிசெய்துகொள்ளக் கண்ணால் இயலும். இதனுள் அமைந்த திரையின்மீது விழும் ஒரு பொருளின் தலைகீழான பிம்பம், அவ்வப்பொழுது மூளையில் பதிப்பிக்கப்படுகிறது.

கண்ணின் அமைப்பைப் படம் 6·5 விளக்குகிறது. கிட்டத்தட்ட கோள வடிவுடைய விழி வெளிப்படலம், (sclerotic) என அழைக்கப்படுகின்ற ஒளிபுகாத் திசுக்களால் ஆன பகுதியின்முன், கார்னியா (cornea) என்ற ஒளி கடத்தக்கூடிய திசுக்கள் அமைந்துள்ளன.




படம் 6·5

விழிவெண் படலத்தின் உட்புறம், விழியடிக் கரும்படலம் (choroid) என அழைக்கப்படுகின்ற கருவண்ணமுடைய ஒரு சவ்வினால் மூடப்பட்டுள்ளது. இது கண்ணினுள் சென்ற ஒளி, சிதறொளி திருப்பம் அடைவதைத் தடுக்கின்றது. கண்ணின் முன்னால் கருவிழி (iris) என்ற ஓர் இடைத்திரை விழி வெளிப்படலத்தோடு, இரண்டறச் சேருகின்றது. இது ஒளிப்படப் பெட்டியின் தடுப்பை ஒத்ததாகும். இதன் மையத்தில் உள்ள துளை பாவை (pupil) எனப்படும். கார்னியாவின் உட்பகுதியில் L என்ற ஒரு படிகவியல் வில்லை அமைந்திருக்கிறது. இது 1·36 ஒளிவிலகு எண் உள்ள முன் கண் ரசம் (aqueous humour) என்ற திரவத்தால் நிரப்பப்பட்டதாகும். இந்தப் படிக வில்லைக்கும், கண்ணின் உட்புறத்திற்குமிடையே 1·44 ஒளிவிலகு எண் உடைய ஓர் ஒளிபுகும் பாகு v. (jelly like vitrous humour) உள்ளது. விழி வெண்படலம், படிகவியல் வில்லை ஆகியவற்றின் மையங்கள் வழியாகச் செல்கின்ற நேர்கோடு ஒளியியல் அச்சு (optic axis) எனப்படும். கண்ணின் உட்பரப்பில் பல நரம்புகளும், இரத்தக் குழாய்களும் நிறைந்து காணப்படும் ஒரு சவ்வினால் ஆன விழித்திரை, R (retina) அமைந்துள்ளது. ஒளியை உணர்கின்ற பகுதி இதுவேயாகும். வெவ்வேறு தொலைவுகளிலுள்ள பொருள்களுக்கு ஏற்பக் கண்ணின் படிகவியல் வில்லை, தன் அமைப்பைத் தானாகவே சரிசெய்துகொள்ளும் ஆற்றல்

(the power of accomodation) படைத்தது. சிலியரித் தசைகள் (ciliary muscles) எனப்படும். தசைகளால் படிகவியல் வில்லை யின் குவியத்தூரம் அவ்வப்பொழுது மாற்றி அமைக்கப்படுகின்றது. கண், ஒரு பொருளைத் தெளிவாகப் பார்க்கக்கூடிய மிகக் குறைந்த தூரத்திற்குத் 'தெளிவுப்பார்வையின் மிகச்சிறு தூரம்' (least distant of distinct vision) எனப்படும். சாதாரணமாக இது 25 செ. மீ. இருக்கும். இதுபோலவே குறைபாடற்ற கண்ணின் சேய்மைப் புள்ளி (far point) முடிவில்லாத் தொலைவில் அமையும். தொலைதூரத்திலுள்ள ஒரு பொருளைக் காணவேண்டுமாயின் படிக வில்லையின் குவியும்தூரம் குறைந்து பிம்பம், விழித்திரையில் விழும்படி படிகவியல் வில்லை சரிசெய்யப்படுகின்றது. மாறுக, பொருள் அருகிலேயே இருந்தால், சிலியரித் தசைகள், படிக வியல் வில்லையைக் குறுக்கி, அதன் குவியும் தன்மையைத் தேவையான அளவு அதிகரிக்கச் செய்கிறது. எனவே, பொருளின் பிம்பம் விழித்திரையில் விழுகிறது. ஆகவே, கண்ணின் பார்வைத் திறன் குறைபாடின்றி இருக்க சிலியரித் தசைகளின் உதவி இன்றி யமையாததாகிறது.

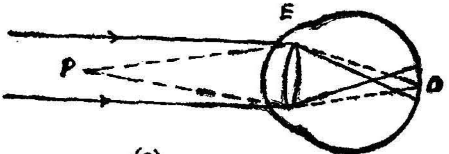
6·6. கண்ணையும் ஒளிப்படக் கருவியையும் கீழ்க்கண்ட அட்டவணை ஒப்பிடுகின்றது

| ஒளிப்படப் பெட்டி | கண் |
|---|---|
| 1. உட்புறம் கருவண்ணம் பூசப்பட்ட ஒரு பெட்டி ஒளிப்படப்பெட்டியின் வில்லையையும் ஒளிப்படத்தட்டையும் கொண்டிருக்கிறது. | கோள வடிவமுள்ள கார்னியா வின் முன் உள்ள விழியடிக் கரும் படலம் ஒளியைச் சிதறவிடாமல் செய்கின்றது. |
| 2. குவிக்கும் தன்மை உடைய வில்லை அமைப்பு பெட்டி யின் முகப்பில் வைக்கப்பட் டிருக்கிறது. இது ஒளிப் படத் தட்டில் தலைகீழான மெய்பிம்பத்தை உருவாக்கு கின்றது. | படிகவியல் வில்லை, முன் கண் ரசம், விழியடி வெண்படலம்; இவை மூன்றும் சேர்ந்து ஒரு வில்லை அமைப்புபோல் விளங்கு கின்றன. விழித்திரையில் ஒரு பொருளின் தலைகீழான மெய் பிம்பம் தோற்றுவிக்கப்படு கின்றது. |
| 3. மடங்கு தன்மை உடைய தோல் துருத்தி ஒளிப்படக் கருவியின் பெட்டியாகின்றது. | சிலியரித் தசைகள் தேவைக்கு ஏற்பச் சுருங்கி விரிவதன் மூலம் படிகவில்லையின் குவியத்தூரம் |

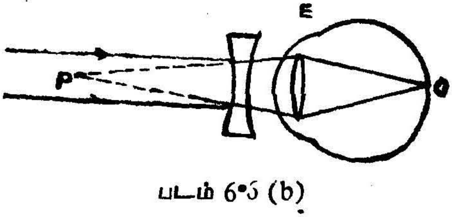
| | | |
|---|---|---|
| | எனவே, பொருளின் தெளிவான பிம்பம் ஒளிப் படத்தட்டில் விழ வேண்டுமாயின், தோல் துருத்தியைத் தேவைக்கேற்பச் சரி செய்ய இயலும். | தேவையான அளவு மாற்றப் பட்டுப் பொருளின் பிம்பம் தெளிவாக விழித்திரையில் விழுகின்றது. |
| 4. | சரிசெய்யக்கூடிய தடுப்பு ஒன்று, ஒளிப்படப் பெட்டியினுள் விழும் ஒளியின் அளவைச் சீர்படுத்துகின்றது. | கண்ணின் கரு விழி, கண்ணினுள் செல்லக்கூடிய ஒளியின் அளவைச் சீர்படுத்துகின்றது. |
| 5. | ஒளிப்படப்பெட்டியின் முன் உள்ள கதவு, தேவையற்ற நேரங்களில், வில்லையை முழுதும் மூடுகின்றது. | கண்ணின்மேல் அமைந்திருக்கும் இமைகள், வேண்டும் பொழுது மூட உதவுகின்றன. |

6·7. கண்ணின் குறைபாடுகள் : ஊட்டக் குறைவினாலும், மூப்பினாலும், கண் பார்வையில் சில குறைபாடுகள் தோன்றுவதுண்டு. அவற்றில் முக்கியமானவை (அ) அண்மைப் பார்வை, (ஆ) தூரப் பார்வை (இ) அஸ்டிக்மேட்டிஸம்.

(அ) அண்மைப் பார்வை : கண்விழிக் கோளமானது, அது இருக்கவேண்டிய அளவைவிட நீண்டிருந்தால், இணை ஒளிக் கற்றைகள் விழித்திரையில் குவியாமல், விழித்திரைக்கு முன்னால்




(a)




படம் 6·5 (b)

ஒரு புள்ளியில் குவிக்கப்படும். கண்ணின் இந்த குறைபாடுதான் அண்மைப் பார்வை எனப்படும். இந்தக் குறைபாடுடைய கண்ணின் சேய்மைப் புள்ளி எண்ணிலாத் தொலைவில் அமையாமல்

அருகில் அமையும், படம் 6·6 (a)ல் P என்ற புள்ளியிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் கிட்டப்பார்வையுடைய கண்ணில் விழும்போது அது விழித்திரையில் குவிவதைக் காணலாம். எனினும், இணைக் கதிர்கள் திரைக்கு முன்னாலேயே குவிகின்றன. எனவே, தொலைவிலுள்ள பொருள்களைப் பார்க்கவேண்டுமாயின், அப் பொருள்களிலிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றைகள் P யிலிருந்து வருவதுபோன்று கண்ணை அடையவேண்டும்.

கண்ணின் முன் ஒரு குழி வில்லையை வைத்தால், எண்ணிலாத் தொலைவிலிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றைகள், Pயிலிருந்து வருவது போன்று கண்ணை அடையும் (படம் 6·6 b).

இந்தக் குறைபாடுடைய கண்ணின் சேய்மைப்புள்ளி $d$ ஆகவும் கண்ணின் குவியத்தூரம் $f$ ஆகவும், விழித்திரை படிகவியல் வில்லையிலிருந்து $v$ தொலைவிலும் இருந்தால், கண்ணுக்கான சமன்பாடு,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{d}=\frac{1}{f}$$ ஆக அமையும்.

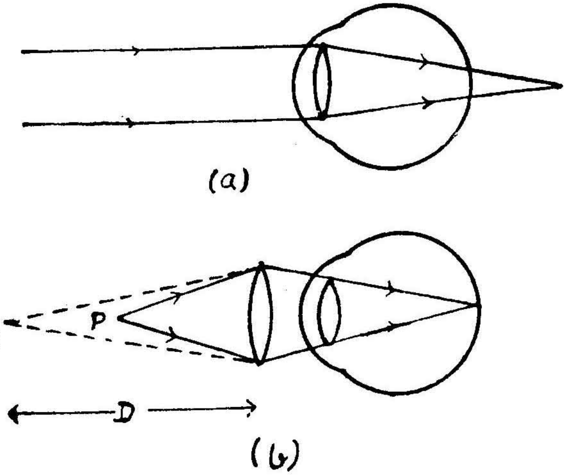
குழி வில்லையை வைத்துத் திருத்தப்பட்ட கண்ணின் சேய்மைப்புள்ளி எண்ணிலாத் தொலைவில் அமையும். ஆகவே, குழி வில்லையின் குவியத்தூரம் $f_1$ ஆனால்,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{\infty}=\frac{1}{f}+\frac{1}{-f_1}$$

இவ் விரு சமன்பாடுகளையும் ஒப்புநோக்கின் $f_1=d$ எனவாகிறது. எனவே, அண்மைப் பார்வையுடைய ஒரு கண்ணின் குறையைத் திருத்தப் பயன்படுத்தவேண்டிய குழி வில்லையின் குவியத்தூரம் அந்தக் கண்ணின் சேய்மைப்புள்ளி அமையும் தொலைவின் அளவு இருக்கவேண்டும்.

(ஆ) சேய்மைப் பார்வை : கண்ணின் விழிக்கோளத்தின் அளவு, அது சாதாரணமாக இருக்கக்கூடிய அளவைவிடக் குறைந்து இருப்பின், இந்தக் குறைபாடு தோன்றுகிறது. இக் குறைபாடு உடைய கண்ணில், தொலைவிலிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றைகள் விழுமாயின், அவை விழித்திரைக்குப்பின்னே குவிகின்றன. (படம் 6-7 a) அதாவது அதன் அண்மைப்புள்ளி 25 செ. மீ. அதிகமாக இருக்கின்றது. சிலியரித் தசைகள், கண்ணில் படிகவியல் வில்லையின் குவிக்கும் தன்மையை அதிகரிப்பதன்மூலம் இதை ஓரளவு சரிசெய்ய முடியும். எனினும், மூப்புக் காரணமாகவோ அல்லது மிக அதிகமான அளவிற்குக் குவிக்கும் தன்மையை அதிகரிக்க வேண்டி-

யிருப்பதன் காரணமாகவோ, சிலருக்கு இது முடியாமல் போய் விடலாம்.




படம் 6·7

இந்தக் குறையை நீக்குவதற்கு ஒரு குவி வில்லை பயன்படுத்தப் படுகின்றது. (படம் 6·7 *b*) சேய்மைப் பார்வையுடைய கண்ணின் அண்மைப்புள்ளி D ஆகவும், படிகவில்லைக்கும் விழித்திரைக்கு மிடையே உள்ள தொலைவு $v$ ஆகவும், குறைபாடுடைய இந்தக் கண்ணின் குவியத்தூரம் $f$ ஆகவும் இருந்தால்,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{D}=\frac{1}{f}$$

குறைபாடுடைய கண்ணைத் திருத்த வேண்டுமாயின் அண்மைப் புள்ளி 25 செ. மீ. தொலைவில் அமையுமாறு செய்யவேண்டும். $f_1$ குவியத்தூரம் உடைய ஒரு குவி வில்லையை, குறைபாடுடைய இந்தக் கண்ணுக்குமுன் வைத்தால், அண்மைப் புள்ளி 25 செ. மீ. யில் அமைவதாகக் கொள்வோம். ஆகவே,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{25}=\frac{1}{f}+\frac{1}{f_1}$$

இவ் விரு சமன்பாடுகளையும் இணைத்தால்,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{25}=\frac{1}{v}+\frac{1}{D}+\frac{1}{f_1} \quad \therefore \frac{1}{25}-\frac{1}{D}=\frac{1}{f_1}$$

அண்மைப்புள்ளி 50 செ. மீ. உடைய, சேய்மைப் பார்வை கொண்ட ஒருவர் அணிய வேண்டிய குவி வில்லையின் குவியத் தூரம் ($f_1$) பின்வருமாறு இருக்கவேண்டும்.

$$\frac{1}{25}-\frac{1}{50}=\frac{1}{f_1}$$

$$\therefore\ f_1 = 50 \text{ செ. மீ.}$$

கண்ணின் படிகவியல் வில்லையும் குவி வில்லையும் ஒன்ருே டொன்று ஒட்டி இருப்பதாகக் கொண்டு, $f_1$ அளவை மேற்கண்டவாறு கணக்கிட்டோம். எனினும் நடைமுறையில் இது முடியாததாகையால், குவிய வில்லையின் குவியத்தூரத்தை ஓரளவு மாற்ற வேண்டி வரும்.

அணிய வேண்டிய வில்லையின், குவியத்தூரத்தைக் குறிப்பிடாமல் 'வில்லையின் குவி திறனை'த்தான் (power of the lens) குறிப்பிடுவது மரபு.

வில்லையின் குவிதிறன் $P=\frac{100}{f}$. இது டையாப்டர் (dioptres) என்ற அலகில் குறிப்பிடப்படும். எனவே, $P=\frac{100}{50}$ 2 டையாப்டர்.

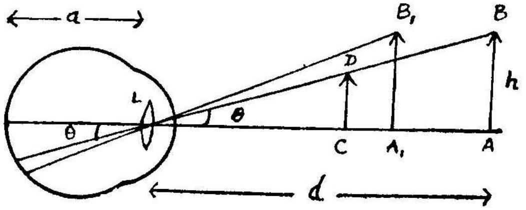
(இ) அஸ்டிக்மேட்டிஸம்: கண் வில்லை கோள உருவாக இருக்கும்பொழுது இரு நேர்குத்துத் தளங்களிலும், அதன் குவியத் தூரம் ஒன்ருகத்தான் இருக்கும். எனவே, பொருளுக்கான பிம்பத்தின் எல்லாப் பகுதிகளும் தெளிவாக விழித்திரையில் விழும். அவ்வாறின்றிக் கண்ணின் குவியத்தூரம் இரு தளங்களிலும் வெவ்வேறு அளவைக் கொண்டிருந்தால், ஒரு பொருளின் எல்லாப் புள்ளிகளும் விழித்திரையில் ஒரே அளவாக விழுந்து பிம்பத்தை உருவாக்க மாட்டா. எனவே, பொருளின் பிம்பம் சில பகுதிகளில் தெளிவாகவும், மற்றப் பகுதிகளில் தெளிவற்றவையாகவும் இருக்கும். இதையே, கண்ணின் அஸ்டிக்மேட்டிஸம் என்கிருேம்.

கோள வடிவமுடைய வில்லை ஒன்றைப் பயன்படுத்துவதன் மூலம் கண்ணின் இக் குறைபாட்டைத் திருத்தமுடியும்.

6-8. பார்வைக் கருவிகள்: பொதுவாக, பார்வைக் கருவிகளில் இருவகை யுண்டு. பொருளின் பிம்பத்தைக் கண்ணிஞல் காண வகை செய்யும் விதத்தில் அமையும் கருவிகள் ஒருவகை. ஒளியின் தன்மை, அதன் பண்புகள் இவற்றை ஆராய உதவும் விதத்தில் அமைக்கப்படும் கருவிகள் மற்ருெரு வகையாகும். முதல் வகையில் நுண்நோக்கி தொலைநோக்கி, செக்ஸ்டண்டு போன்ற கருவிகளைக் குறிப்பிடலாம். நிறமாலை மானி, நிறமாலை காட்டி, குறுக்கீட்டு மானி, போலாரி மீட்டர் போன்றவைகள் இரண்டாம் வகையைச் சேர்ந்தவை. இக் கருவிகளில் சிலவற்றின் அமைப்பும், அவை இயங்கும் முறையும் ஒளியின் குறிப்பிட்ட விளைவுகளைப்பற்றிக் குறிப்பிடும்பொழுது, விளக்கப்பட்டிருக்கிறது. மற்ற சில ஒளியியல் கருவிகளின் அமைப்பு செயல்முறை இவைகளை இங்குக் காண்போம்.

ஒரு பொருளின் தோற்ற அளவு, அது கண்ணில் அமைக்கும் பார்வைக் கோணத்தை (visual angle) பொறுத்தது. பார்வைக் கோணம், அதிகரிக்குமேயானால், பொருளின் அளவும் அதிகமாகத் தோன்றும். இரு பொருள்கள் நம் கண்ணில் கொண்ட பார்வைக் கோணத்தின் வேறுபாடு 1′ க்கும் குறைவாக இருந்தால், அவ் விரு பொருள்களையும், நம்மால் தனித்துக் காண முடியாது. இதையே கண்ணின் பகுதிறன் (resolving power) என்கிறோம்.

கண்ணின் முன் வெவ்வேறு தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ள, பொருள்கள், கண்ணோடு அமைக்கும் பார்வைக் கோணங்களை படம் 6·8 விளக்குகின்றது. ஒரு பொருள் கண்ணோடு அமைக்கும் பார்வைக் கோணத்தை அதிகரிக்கவேண்டுமானால், பொருளைக் கண்ணுக்கு அருகே கொண்டு வருதல் வேண்டும். எனினும், கண்ணின் அண்மைப் புள்ளிக்கும் குறைவான தூரத்தில், பொருளைக் கொண்டுவந்தால் பொருள் தெளிவாகத் தெரியாது. பார்வைக் கருவிகள் அமைப்பில் தலையாய செயல், பொருளின் பார்வைக் கோணத்தை அதிகரிப்பதேயாகும். இவ்வாறு பார்வைக் கோணத்தை அதிகரிக்கச் செய்யும், கருவிகள் உருப்பெருக்குக் கருவிகள் எனப்படும்.

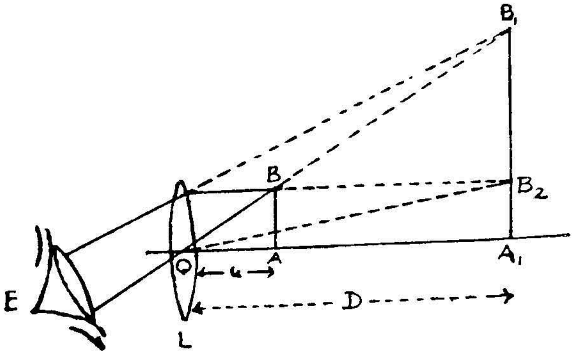



படம் 6·8

ஒரு பார்வைக் கருவியினால் உருவாக்கப்படும் பிம்பத்தின் பார்வைக் கோணத்திற்கும் அதே தொலைவில், பொருள் வைக்கப் படும்பொழுது அந்தப் பொருளின் பார்வைக் கோணத்திற்கும் உள்ள தகவு, பார்வைக் கருவியின் உருப்பெருக்குத்திறன், (magnifying power) எனப்படும்.

6·9. தனி நுண்ணோக்கி : (Simple microscope) தனி நுண்ணோக்கி என்பது, கண்ணருகில் வைக்கப்படும் ஒரு குவி வில்லையாகும். பொருள் வில்லையின் குவியத்தூரத்திற்குள் வைக்கப்பட்டால், பொருளின் நேரான மாய பிம்பத்தை வில்லை தோற்றுவிக்கிறது. பொருளை வில்லையின் முன் நகர்த்தி, பொருளின் பிம்பம், கண்ணின் தெளிவுப் பார்வையின் மீட்சியுறு தொலைவில் (CD) விழுமாறு சரி செய்து கொள்வது முறை.

படம் 6·9ல் E என்னும் கண்ணின்முன் வைக்கப்பட்ட குவிவில்லை (L) யையும், வில்லையின் முன் u தொலைவிலுள்ள AB என்ற பொரு




படம் 6·9

ளின் பிம்பம் $A_1B_1$, D தொலையில் விழுவதையும் காணலாம். கண்ணுக்கு மிக அருகே, குவி வில்லை இருப்பதால், பிம்பம் கண்ணோடு அமைக்கும் பார்வைக் கோணம், $B_1\hat{O}A_1$ ஆகவும், பொருள் பிம்பம் அமையும் தொலைவிலேயே வைக்கப்பட்டிருந்தால், அது கண்ணோடு அமைக்கும் பார்வைக் கோணம் $B_2\hat{O}A_1$ ஆகவும் இருக்கும்.

$$\therefore \text{ கோண உருப்பெருக்கம் } = \frac{B_1\hat{O}A_1}{B_2\hat{O}A_1}$$

கோணங்கள் சிறியனவாகையால்,

$$B_1\hat{O}A_1 = \text{Tan } B_1OA_1$$
$$= \text{Tan } BOA$$
$$= \frac{BA}{OA}$$

$$B_2\hat{O}A_1 = \text{Tan } B_2\ OA_1$$
$$= \frac{B_2\ A_1}{OA_1}$$
$$= \frac{BA}{OA_1}$$

$$\therefore \quad M = \frac{BA}{OA} \Big/ \frac{BA}{OA_1}$$
$$= D/u$$

மேலும், வில்லையின் குவியத்தூரம் $f$ ஆனல்,

$$\frac{1}{-D} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

எனவே, $-1 + \frac{D}{u} = \frac{D}{f}$

$$\therefore \frac{D}{u} = 1 + \frac{D}{f}$$

ஆகவே,

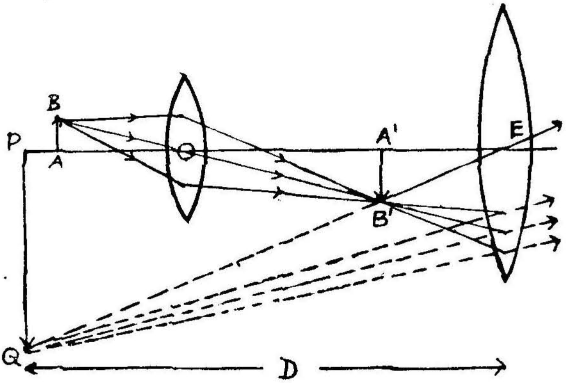
$$M = 1 + \frac{D}{f}$$

ஆகையால், ஒரு தனி நுண்ணோக்கியின் உருப்பெருக்குத் திறனை அதிகரிக்க வேண்டுமாயின், அதன் குவியத்தூரத்தைக் குறைக்க வேண்டும். எனினும், குவிவில்லை தயாரிப்பதில் ஏற்படும் சில தவிர்க்க முடியாத இடையூறுகளால், பிம்பத்தின் குவியத்தூரத்தை ஒரு குறிப்பிட்ட அளவைவிடக் குறைக்க முடியாது. எனவே, இரு குவிவில்லைகளின், தொகுப்பு ஒன்றைப் பயன்படுத்தி உருப்பெருக்குத் திறனை அதிகரிக்க வழிசெய்கின்றது. அந்தத் தொகுப்பு, கூட்டு நுண்ணோக்கி எனப்படும்.

6·10. கூட்டு நுண்ணோக்கி (Compound microscope): கூட்டு நுண்ணோக்கியில் இரு குவிவில்லைகள், ஒரு பித்தளைக் குழலின் இரு முனைகளிலும் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். பொருளுக்கு அருகில் இருக்கும் வில்லை பொருளருகு வில்லை (objective) என்றும், கண்ணுக்கு அருகில் இருக்கும் வில்லை கண்ணருகு வில்லை என்றும் கூறப்படும். கண்ணருகு வில்லை ஒற்றையாக இராமல், செயல் திறனை அதிகரிக்கும் விதத்தில் அமைக்கப்பட்ட ஓரிரு வில்லைகளின் தொகுப்பாகும். இது கண்ணருகுக் கருவி (eye piece) என்று கூறப்படும். கண்ணருகுக் கருவியின் குவியத்தூரம், பொருளருகு வில்லையின் குவியத்தூரத்தைவிட அதிகமாக இருக்கவேண்டும். கண்ணருகுக்கருவிக்கு நெருக்கமாகக் கண்ணை வைத்துக்கொண்டு, பொருளுக்கும் பொருளருகு வில்லைக்குமிடையே உள்ள தொலைவை சரிசெய்து, பொருளின் பிம்பம் தெளிவுப்பார்வையின் மீச்சிறு தொலைவில் தெளிவாக விழுமாறு வைத்துக்கொள்ளவேண்டும்.

படம் 6·10 ஒரு கூட்டு நுண்ணோக்கி செயல்படும் விதத்தை விளக்குகிறது. AB என்ற பொருள், பொருளருகு வில்லை (0) வின்

குவியத்தூரத்தைவிட, சற்றே அதிகமான தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. A′B′ இதன் தலைகீழான மெய்ப்பிம்பம். கண்ணருகுக்




படம் 6·10

கருவி (E)யை நகர்த்தி A′ கண்ணருகுக் கருவியின் குவியத்தூரத்திற்குள் விழுமாறு சரிசெய்யவேண்டும். இப்பொழுது A′B′ ன் மாயபிம்பம், (PQ) கண்ணின் தெளிவுப்பார்வையின் மீச்சிறு தொலைவில் (D) விழுவதாகக் கொள்வோம்.

கூட்டு நுண்ணோக்கியின் உருப்பெருக்குத் திறன் :

$$\text{உருப்பெருக்கம் } M = \frac{\text{PQ என்ற முடிவான பிம்பத்தின் பார்வைக் கோணம்}}{\text{பொருள், PQ அமைக்கும் அதே இடத்தில் இருந்தால் அமைக்கும் பார்வைக் கோணம்}}$$

$$= \frac{\frac{PQ}{D}}{\frac{AB}{D}} = \frac{PQ}{AB}$$

$$= \frac{PQ}{A'B'} \cdot \frac{A'B'}{AB}$$

ஆனால், $\frac{PQ}{A'B'} = M_e =$ கண்ணருகுக் கருவியின் உருப்பெருக்குத் திறன்

$\frac{A'B'}{AB} = M_o =$ பொருளருகுக் கருவியின் உருப்பெருக்குத் திறன்

$$\therefore \quad M = M_e M_o$$

கண்ணருகுக் கருவி ஒரு தனி நுண்ணோக்கிபோல் செயல்படுதலால்,

$$M_e = 1 + \frac{D}{f_e} \quad \text{ஆகும்.}$$

இதில் $f_e$ என்பது கண்ணருகுக் கருவியின் குவியத் தூரமாகும்.

பொருளருகு வில்லையிலிருந்து A′B′ என்ற பிம்பம், $v$ தொலை விலும் AB என்ற பொருள் $u$ தொலைவிலும் இருந்தால்,

$$M_o = \frac{v}{u}$$

மேலும்,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_o}$$

$f_o$ என்பது பொருளருகு வில்லையின் குவியத்தூரம்.

$$\therefore \quad \frac{v}{u} = \frac{v}{f_o} - 1$$

$$\therefore \quad M_o = \frac{v}{f_o} - 1$$

$$\therefore \quad M = M_o . M_e = \left(\frac{v}{f_o} - 1\right)\left(1 + \frac{D}{f_e}\right)$$

பொதுவாக எல்லாக் கூட்டு நுண்ணோக்கிகளிலும், பொருளருகு வில்லையும், கண்ணருகு வில்லையும் குறிப்பிட்ட ஒரு மாறுத தொலைவில் அமைக்கப்பட்டிருக்கும். எனவே, பொருளுக்கும், இந்தக் கூட்டு நுண்ணோக்கிக்கும் இடையே உள்ள தொலைவைச் சரிசெய்துதான் தெளிவான பிம்பம் காண வழி செய்யப்படுகிறது. ஆகவே, $v$ யின் மதிப்பை $f_o$, $f_e$ இவற்றின் மதிப்பின் மூலம்தான் காண இயலும்.

படம் 6·10-ல் OE=L இது ஒரு மாறுத்தொலைவாக இருக்கட்டும்.

$$v = OA'$$

$$\therefore \quad v = L - A'E$$

மேலும், $$\frac{1}{-D} + \frac{1}{A'E} = \frac{1}{f_e}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{A'E} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{D} = \frac{D + f_e}{D \cdot f_e}$$

$$\therefore \quad A'E = \frac{D + f_e}{D \cdot f_e}$$

$$\therefore \quad V. = L - \frac{D \cdot f_e}{D + f_e}$$

$$\therefore \quad M = M_o \cdot M_e = \left[ \frac{L - \frac{D f_e}{D + f_e}}{f_o} - 1 \right] \left[ 1 + \frac{D}{f_e} \right]$$

6·11. தொலை நோக்கிகள் (Telescopes): முதல் தொலை நோக்கி ஜான்லிப்பர்சே என்பவரால், 1609-ல் அமைக்கப்பட்டது. சில ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர், வானிலுள்ள கோள்களையும் விண் மீன்களையும் ஆராயும்பொருட்டு கலீலியோ ஒரு தொலைநோக்கியை அமைத்தார். அதன் பின் தொலைநோக்கிகள் பல, தேவைக்கேற்ற புதுமைகளோடு, அவ்வப்பொழுது உருவாக்கப்பட்டன. எனினும், அவைகளின் அடிப்படை இயங்கும் முறை ஒளிவிலகல் முறை யாகவோ அல்லது ஒளி எதிரொளிப்பு முறையாகவோதான் இருக் கின்றது.

தொலைநோக்கிகளின் கோண உருப்பெருக்கம்: தொலைநோக் கியின் பயன்கள் மூன்று வகைப்படும். அவையாவன: (அ) தொலை பொருள்களைத் தெளிவான முறையில் காணுமாறு அவற்றின் பிம்பத்தை உருப்பெருக்கமடையச் செய்வது. (ஆ) கண் விழியினால் சேகரிக்க இயலக்கூடிய ஒளியின் அளவைவிட, அதிகமாக ஒளி திரட்டுவது. (இ) தியோடோலைட் போன்ற சில கருவிகளில், பொது வாகப் பார்வைக் கருவியாகப் பயன்படுவது.

தொலைநோக்கியினால் உருவாகும் பிம்பம், கண்ணுடன் அமைக்கும் கோணம் $\beta$ ஆகவும், தொலைநோக்கி இல்லாமல் தொலை பொருளை நேராகப் பார்க்குமிடத்துத் தொலைபொருள் கண் ணுடன் அமைக்கும் கோணம் $\alpha$ ஆகவும் இருந்தால், கோண

உருப்பெருக்கம் $M = \dfrac{\beta}{\alpha}$ ஆகும்.

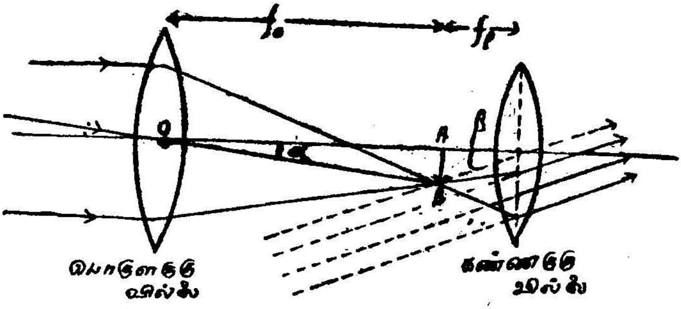
6·12. ஒளி விலகல் முறை தொலைநோக்கிகள் (Refracting Telescopes):

(அ) வானியல் தொலைநோக்கி (Astronomical Telescope): முடிவிலா பிம்பம் எண்ணிலாத் தொலைவில் அமைதல்: ஒரு சாதாரண தொலைநோக்கி ஒரு பித்தளைக் குழலின் இரு முனைகளிலும், இரு வில்லைகளைக் கொண்டது. இதில் ஒன்று பொருளருகு வில்லை; மற்றொன்று கண்ணருகு வில்லை. பொருளருகு வில்லையின் குவியத்தூரம் அதிகமாகவும், கண்ணருகு வில்லையின் குவியத்தூரம் குறைவாகவும் இருக்கும்.

இந்தத் தொலைநோக்கி அமைப்பில், பொருளருகு வில்லைக்கும், கண்ணருகு வில்லைக்குமிடையே உள்ள தொலைவு, அவ் விரு வில்லை

களின் குவியத்தூரங்களின் கூடுதலுக்குச் சமமாக அமைக்கப்பட்டுள்ளது.

படம் 6·11 இந்த அமைப்பை விளக்குகிறது. தொலைதூரப் பொருளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றை, பொருளருகு வில்லையில் விழுந்து, அந்த வில்லையின் குவியத்தூரத்தில் AB என்ற மெய்பிம்பமாகக் குவிகின்றது. A என்ற புள்ளி கண்ணருகு வில்லையின் குவியத்திலும் இருப்பதால், ABயின் முடிவான பிம்பம், பார்ப்பவரின் கண்ணுக்கு எண்ணிலாத் தொலைவில் இருப்பதுபோல் தோன்றுகிறது.




படம் 6·11

கண்ணருகு வில்லையின் அருகிலேயே கண்ணை வைத்துக் கொண்டு பார்ப்பதாகக் கொண்டால், இந்தத் தொலைநோக்கியின் கோண உருப்பெருக்கம்,

$$M = \frac{\beta}{\alpha}$$

OA = பொருளருகு வில்லையின் குவியத்தூரம் $f_o$

AE = கண்ணருகு வில்லையின் குவியத்தூரம் $f_e$

$\triangle$ ABE யில்,

$$\tan \beta = \frac{AB}{AE}$$

$$\therefore \quad \beta = \frac{AB}{AE}$$

$\triangle$ OAB யில்,

$$\tan \alpha = \frac{AB}{OA}$$

$$\alpha = \frac{AB}{OA}$$

$$\therefore \quad M = \frac{\beta}{\alpha}$$

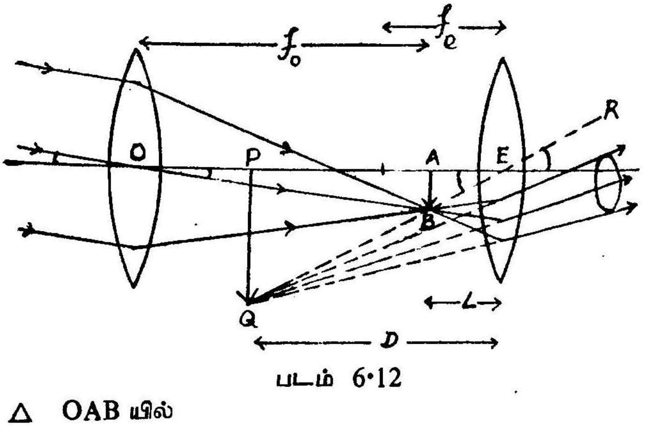
$$= \frac{AB}{AE} \cdot \frac{OA}{AB}$$

$$= \frac{OA}{AE}$$

$$= \frac{fo}{fe}$$

குறிப்பு : தொலைநோக்கிகளில், கண்ணருகு வில்லையை ஒற்றையாகக் குறிப்பிட்டிருந்தபோதிலும், பொதுவாக, ஒரு சில வில்லைகளைக்கொண்ட கண்ணருகுக் கருவி என்ற கூட்டமைப்பு தான் கண்ணருகு வில்லையாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றது என் பதைக் கருத்தில் கொள்ளவேண்டும்.

(ஆ) முடிவான பிம்பம் கண்ணின் தெளிவுப் பார்வையின் மீச்சிறு தொலைவில் அமைதல் : முடிவான பிம்பம் கண்ணின் மீச்சிறு தொலைவில் விழுந்தால், அது மிகத்தெளிவாகத் தெரியும். படம் 6·12 இவ்வகையில் அமைக்கப்பட்ட ஒரு தொலைநோக்கி செயல்படும் விதத்தை விளக்குகின்றது. தொலைவில் இருக்கும் பொருளின் பிம்பம் (AB) பொருளருகு வில்லையின் குவியத்தூரத்தில் விழுகிறது. கண்ணருகு வில்லையின் தொலைவைச் சரிசெய்து, முடிவான பிம்பம், கண்ணின் தெளிவுப்பார்வையின் தொலைவில் இருக்குமாறு அமைக் கப்பட்டுள்ளது. இந்த நிலையில் AB என்ற பிம்பம் கண்ணருகு வில்லையிலிருந்து அதன் குவியத்தைவிட அருகில் இருக்கும். முடிவான பிம்பம் (PQ) மீச்சிறு தொலைவில் (Dயில்) விழுகிறது.




படம் 6·12

△ OAB யில்

$$\operatorname{Tan} \alpha = \frac{AB}{OA}$$

$$\alpha = \frac{AB}{fo}$$

△ EAB யில்

$$\tan \beta = \frac{AB}{AE}$$

$$\beta = \frac{AB}{L}$$

L என்பது AB பிம்பம், கண்ணருகு வில்லையிலிருந்து அமையும் தொலைவு.

$$\therefore \quad M = \frac{\beta}{\alpha}$$

$$= \frac{fo}{L}$$

முடிவான பிம்பம் D தொலைவில் விழுவதால்,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{fe}$$

மேலும்,

$v = -D$ (முடிவான பிம்பம் மாய பிம்பமாதலால் எதிர்க்குறியைக் கொண்டிருக்கும்.)

$$u = L$$

$$\therefore \quad -\frac{1}{D} + \frac{1}{L} = \frac{1}{f_e}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{L} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{D}$$

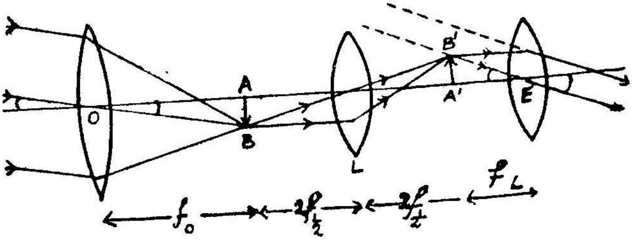
$$\therefore \quad L = \frac{f_e \cdot D}{D + f_e}$$

$$\therefore \quad M = \frac{fo}{L} = \frac{fo}{\frac{f_e D}{D + f_e}} = \frac{fo\,(D + f_e)}{f_e D} = \frac{fo}{f_e}\left[1 + \frac{f_e}{D}\right]$$

எனவே, இந்த அமைப்பில், கோண உருப்பெருக்கம், சாதாரண அமைப்பைவிட $fo/D$ அளவு கூடுதலாக உள்ளது.

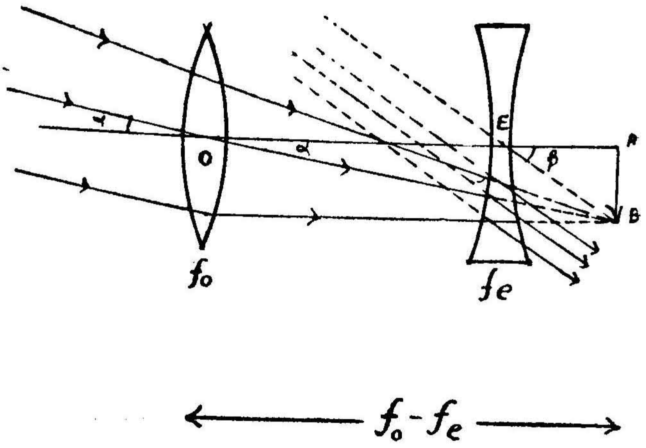
6·13. புவியியல் தொலைநோக்கி : வானவியல் தொலைநோக்கியில் உருவாகும் பிம்பம், தலைகீழாக இருக்கிறது. விண்ணிலுள்ள கோள்கள் கோளவடிவமுடையன ஆதலால், பிம்பம் தலைகீழாக விழுந்தாலும், அதன் தோற்றம் மாறப்போவதில்லை. ஆனால், இப் புவியிலுள்ள பொருள்களைக் காண அதன் நேரான பிம்பம்தான் தோற்றுவிக்கப்படவேண்டுமாதலால், வானியல் தொலைநோக்கிகள் பயன்படா. எனவே, புவியியல் தொலைநோக்கிகள் அமைவது இன்றியமையாதது.

இவ்வகைத் தொலை நோக்கிகளில் பொருளருகு வில்லைக்கும் கண்ணருகு வில்லைக்குமிடையில் மற்றொரு வில்லை (L) வைக்கப்படு கின்றது (படம் 6·13). பொருளருகு வில்லையினால் ஏற்படும் AB என்ற பிம்பம், L என்ற வில்லைக்குமுன், அந்த வில்லையின், $2F_L$ல் அமையுமாறு Lஐச் சரிசெய்துகொண்டால், AB யின் பிம்பம், Lக்கு மறுபுறம் $2F_L$ தொலைவிலேயே உருப்பெருக்கமின்றி (A′ B′) அமை கிறது. இப்பொழுது A′B′ கண்ணருகு வில்லையின் குவியத்தூரத்தில் விழுமாறு, வில்லையை நகர்த்தினால் E வழிபார்க்கும்பொழுது, முடிவான மாயபிம்பம் நேராகவும், எண்ணிலாத் தொலைவில் இருப்பது போலவும் தோன்றும்.




படம் 6·13

**6·14. கலிலியோவின் தொலைநோக்கி :** பொருளின் நேரான பிம்பத்தைக் காண இரு வில்லைகளைக் கொண்டே, ஒரு தொலை நோக்கியை கலிலியோ அமைத்தார். இந்த அமைப்பில், பொருளருகு வில்லை, அதிக அளவு குவியத்தூரம் உடைய ஒரு குவி




படம் 6·14

வில்லையாகும் (படம் 6-14). கண்ணருகு வில்லை குறைந்த குவியத் தூரம் உடைய ஒரு குழி வில்லையாகும். தொலைநோக்கியில் இவ் விரு வில்லைகளுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு $f_o - f_e$ இருக்குமாறு இவ் விரு வில்லைகளும் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. தொலைபொரு ளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றைகள் பொருளருகு வில்லையில் ஒளி விளக்கமடைந்து, குவிதன்மை உடையனவாக இருக்கின்றன. கண்ணருகு வில்லை இல்லாவிடில், இவை AB என்ற ஒரு தலைகீழான மெய்ப்பிம்பத்தை தோற்றுவித்திருக்கும். எனினும், கண்ணருகு வில்லை, இந்த மெய்ப்பிம்பத்திலிருந்து, $f_e$ தொலைவிலுள்ளதால், கண்ணருகு வில்லையின் இக் கதிர்கள் விழும்பொழுது ஒளிவிலக்கம் அடைந்து முடிவில்லாத் தொலைவிலிருந்து வருவதுபோல் தோற்ற மளிக்கின்றன.

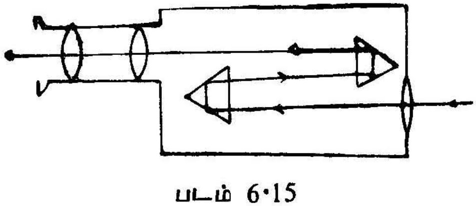
$$M = \frac{\beta}{\alpha}$$

$$= \frac{\tan \beta}{\tan \alpha}$$

$$= \frac{\frac{AB}{AE}}{\frac{AB}{OA}}$$

$$= \frac{OA}{AE} = \frac{f_o}{f_e}$$

6·15. பைனகுலர் : (Binocular) புவியியல் தொலைநோக்கி களில், கோண உருப்பெருக்கம் அதிகமாக இருக்கவேண்டுமாயின், அவைகளின் தொலைநோக்கிகளின் நீளமும் அதிகமாகிவிடுகிறது. எனவே, பார்வைப் புலனை அதிகமாக்குவதற்கும், உருப்பெருக்கம் அதிகரிக்கவும், அதே நேரத்தில் தொலைநோக்கியின் நீளம், அதி கரிக்காமல் இருக்கும்படியும் அமைக்கப்பட்ட ஒரு தொலை நோக்கியே பைனகுலர் ஆகும். இதில் இரு கண்களின் வழியாக



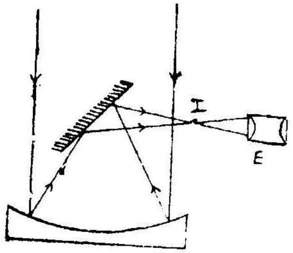
படம் 6·15

நாம் பார்க்குமாறு இரு வானியல் தொலைநோக்கிகள் அமைக்கப் பட்டிருக்கின்றன. பொருளருகு வில்லைக்கும் கண்ணருகு வில்லைக்கும்

இடையில், ஒளி செல்லும் பாதையில், இரு கண்ணாடி முப்பட்டகங்களை வைத்து, (படம் 6·15) பொருளின் பிம்பம் நேராக விழுமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த இரு முப்பட்டகங்களின்மூலம் தொலை நோக்கியினுள் ஒளிக்கதிரின் பாதை அதிகரிக்கப்படுகிறது. நேர்பிம்பமும் கிடைக்கிறது.

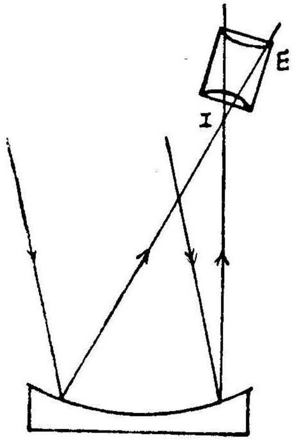
6·16. எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கிகள்: (Reflecting Telescopes) ஒளி விலகல் முறையில் இயங்கும் தொலைநோக்கிகள் நிறப்பிறழ்ச்சி போன்ற குறைகளுடைய பிம்பங்களைத் தோற்றுவிப்பதைக் கண்ட நியூட்டன், முதன் முதலில் ஓர் எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கியை அமைத்தார். இவ்வாறான எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கிகளை நான்கு வகையாகப் பிரிக்கலாம்.

நியூட்டன் தொலைநோக்கி (Newton's Telescope) : தொலை பொருளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் ஒரு பரவளைய ஆடியில் எதிரொளிக்கப்படுகின்றன. பரவளைய ஆடியின் குவியத்தில் இந்தக் கதிர்கள் குவியுமுன், 45 சாய்வுள்ள ஒரு சமதள ஆடியினுல் எதிரொளிக்கப்படுகின்றன. எனவே, தொலைபொருளின் மெய்பிம்பம் I என்ற புள்ளியில் விழும் (படம் 61·6). இந்த மெய்பிம்பத்தை E என்னும் கண்ணருகுக் கருவி வழி காணலாம்.



படம் 6·16

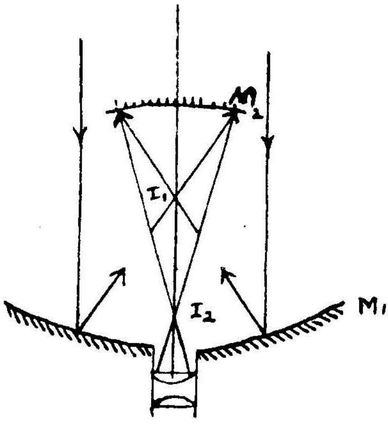
ஹெர்ஷல் தொலைநோக்கி (Hershel's Telescope) : இது நியூட்டன் தொலைநோக்கியின் அமைப்பையொத்திருக்கிறது.



படம் 6·17

எனினும், பரவளைய ஆடியின் அச்சு, படுகதிரின் திசையில் அமையாமல் சற்றே சாய்ந்திருக்கும் (படம் 6·17). எனவே, பரவளைய ஆடியினுல் எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர்களை சமதள ஆடிகொண்டு திசைதிருப்பத் தேவையில்லை. கண்ணருகுக் கருவி வழியாகப் பரவளைய ஆடியினுல் எதிரொளிக்கப்பட்டுக் குவியும் பொருளின் மெய்ப்பிம்பத்தைத் தெளிவாகக் காண இயலும்.

கிரிகோரி தொலைநோக்கி : (Gregory's Telescope) இந்த வகைத் தொலைநோக்கிகளில் பொருத்தப்பட்டுள்ள பரவளைய ஆடியின் மையப்பகுதியில் ஒரு சிறுதுளையிடப்பட்டு ஓர் இடையிடம் ஏற்படுத்தப்படுகின்றது (படம் 6·18). இந்த இடை இடத்திற்கு நேராக ஒரு

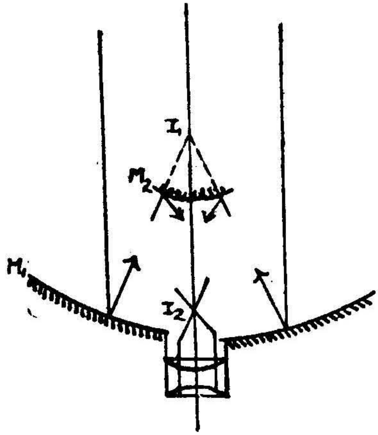



படம் 6·18

கண்ணருகுக் கருவி பொருத்தப்படுகின்றது. தொலை பொருளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றைகள் $M_1$ என்ற பரவளைய ஆடியினுல் எதிரொளிக்கப்பட்டு, இந்தப் பரவளைய ஆடியின் குவியமான $I_1$-ல் ஒரு மெய்ப்பிம்பம் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றது. தொலைபொருளின் இந்த மெய்ப்பிம்பம், $M_2$ என்ற மற்றொரு நீள்வட்ட ஆடியின் ஒரு குவியத்தில் விழுமாறு $M_2$ என்ற ஆடி பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றது. எனவே, இதன் பிம்பம் $M_2$ வின் மற்றொரு குவியமான $I_2$வில் கோளப்பிறழ்ச்சி இல்லாமல் விழும். இந்தப் பிம்பத்தைக் கண்ணருகுக் கருவிமூலம் பார்க்க இயலும்.

காசகிரின் தொலைநோக்கி : (Cassagrain's Telescope) : ஒரு பெரிய குவி ஆடியின் மையப்பகுதியில், சிறிய துளை இடப்பட்டு ஓர் இடையிடம் ஏற்படுத்தப்பட்டிருக்கிறது. தொலை பொருளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் $(M_1)$ கோள ஆடியின் முதன்மை அச்சிற்கு

இணையாக விழுந்து, எதிரொளிக்கின்றது. இந்த எதிரொளிப்புக் கதிர்கள் $I_1$ என்ற இடத்தில் குவிகின்றன (படம் 6·19). அதிபரவளைய ஆடி ஒன்றை, அதன் எதிரொளிப்புத்தளம், கோள ஆடியின் எதிரொளிப்புத் தளத்தை நோக்கியும், அதி பரவளைய ஆடியின் ஒரு குவியம் $I_1$ ல் அமையுமாறும் வைக்கப்பட்டுள்ளது. எனவே, இந்த அதிபர வளைய ஆடியினால் எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர்கள், அதன் மற்றொரு குவியமான $I_2$ வில் குவிந்து, கோளப் பிறழ்ச்சியற்ற ஒரு பிம்பத்தை ஏற்படுத்துகின்றன. இந்தப் பிம்பத்தை $M_1$ ஆடியின் நடுவே அமைந்த துளைவழியாக, ஒரு கண்ணருகுக் கருவியின் துளைவழியாகக் காணலாம்.




படம் 6·19

6·17. எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கியைப் பயன்படுத்துவதால் ஏற்படும் நன்மைகள் : ஒளிவிலகல் முறையில் அமையும் தொலை நோக்கியைக்காட்டிலும், எதிரொளிப்புத் தொலை நோக்கிகள் சில குறிப்பிடத்தக்க வகைகளில், மேம்பட்டவைகளாக இருக்கின்றன. அவையாவன:

(1) ஒளிவிலகல் முறையில் அமையும் தொலைநோக்கியிலுள்ள வில்லைகளில் ஒளியின் ஒரு பகுதி உட்கவரப் படுகின்றது. எதிரொளிப்புத் தொலை நோக்கிகளில் இக் குறை தோன்றுது.

(2) எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கிகளில் நிறப்பிறழ்ச்சி தோன்ற முடியாது.

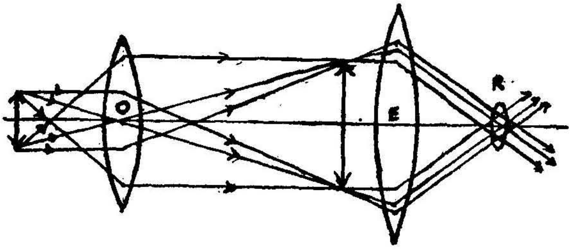
(3) எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கிகளில், பரவளைய, மற்றும் அதிபரவளைய ஆடிகளைப் பயன்படுத்துவதன்மூலம் கோளப்பிறழ்ச்சியை அறவே நீக்க இயலும்.

(4) எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கியின் ஆடிகளின் விட்டத்தைத் தேவைக்கு ஏற்ப அதிகமாக்கிக்கொள்ள இயலும். எனவே, ஒளி திரட்டும் சக்தியும் அதிகரிக்கும்.

(5) எதிரொளிப்புத் தொலை நோக்கியில் உள்ள ஆடிகளைப் பொருத்துவது எளிது. ஒளி விலகல்முறை ஆடிகளில் அமையும் வில்லைகளை அவைகளின் பரிதியில் வளையமாகப் பொருத்த வேண்டியிருப்பதால், வில்லைகளைப் பொருத்துவது கடினமாகிறது.

6·18. கண்ணருகுக் கருவிகள் : நுண்ணோக்கிகளும், தொலை நோக்கிகளும் நிறப்பிறழ்ச்சி, கோளப்பிறழ்ச்சி போன்ற பிம்பக் குறைகள் நீக்கியதாக அமைவதே சிறப்பு. இதற்குப் பல வழிகள் கையாளப்படுகின்றன. கண்ணருகு வில்லை ஒற்றையாக இல்லாமல் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட தொகுப்பாகக்கொண்டால், பிம்பக்குறைகளைப் பெரிதளவு குறைக்கமுடியும்.

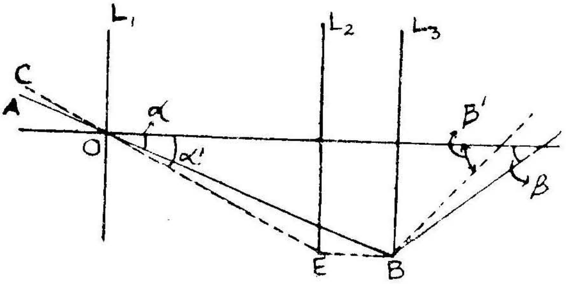
6·19. விழிவில்லையும், புலன் வில்லையும் : (Eye lens and Field lens) : பொதுவாக, ஒரு பொருளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றை, பொருளருகு வில்லைவழியாகக் கண்ணருகு வில்லையை அடைந்து, பார்ப்பவரின் கண்களை அடையும் முறையைப் படம் 6·20 விளக்கு




படம் 6·20

கிறது. கண்ணருகுவில்லை (E) வழியாகச் சென்ற கதிர்கள் R என்ற வட்டப் பகுதியில் குவிகின்றன. இந்தப் பகுதி 'கண் வளையம்' (eye-ring) எனப்படும். கண்ணருகு வில்லைவழியாக ஒரு பொருளின் பிம்பத்தைக் காணவேண்டுமாயின், காண்பவரின் கண், இந்தக் கண்வளையப் பகுதியில் இருக்கவேண்டும். அப்போதுதான் கண்ணருகு வில்லையிலிருந்து வரும் எல்லாக் கதிர்களும் அவரின் கண்ணை வந்தடையும். கண்ணைக் கண் வளையம் அமையும் இடத்திலேயே வைத்துக்கொண்டு பிம்பத்தின் ஓரங்களிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்களும்கூடக் கண்ணை வந்தடையச் செய்யப் புலன் வில்லை என்ற மற்றொரு வில்லை கண்ணருகு வில்லையோடு சேர்த்துப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இந்த இரு வில்லைகளின் கூட்டமைப்பு கண்ணருகுக் கருவி எனப்படும்.

படம் 6·21-ல், $L_1$ என்பது பொருளருகு வில்லையாகும். $L_2$ என்ற புலன்வில்லை இல்லாவிடில் பொருளிலிருந்து வரும் AOB என்ற ஓரக் கதிர்தான் கண்ணை அடைய முடியும்.




படம் 6.21

இந்த ஓரக்கதிர் பொருளருகு வில்லையோடு அமைக்கும் கோணம் α ஆகவும் கண்ணுடன் அமைக்கும் கோணம் β ஆகவும் இருக்கிறது. இப்பொழுது $L_2$ என்ற புலன்வில்லையைப் பொருளருகு வில்லைக்கும், கண்ணருகு வில்லைக்கும் இடையே வைத்தால், கண்ணருகு வில்லையினுல், முதலில் திரட்ட முடியாமலிருந்த COE போன்ற ஓரக் கதிர் $L_2$ வில்லையினுல் குவிக்கப்பட்டுக் கண்ணருகு வில்லைவழியாகக் கண்ணை அடைய முடியும். COE பொருளருகு வில்லைக்கு அமைக்கும் கோணம் α' ஆகவும் இதன் பிம்பம் கண்ணுடன் அமைக்கும் கோணம் β' ஆகவும் இருந்தால், $\beta' > \beta$. ஆகவே, புலன் வில்லையைப் பயன்படுத்துவதால் பொருளின் கோணப்புலனும், பிம்பத்தின் கோணப் புலனும் அதிகரிக்கப்படுகின்றன. மேலும், புலன் வில்லையையும், கண்ணருகு வில்லையையும், நிறப் பிறழ்ச்சி, கோளப்பிறழ்ச்சி போன்ற குறைகள் நீக்கும் வகையில் அமையும் தொகுப்பாக இணைக்க முடியும்.

6·20. ஹைஜயன் கண்ணருகுக் கருவி (Huygen's eye piece) : கோளப்பிறழ்ச்சியையும் நிறப்பிறழ்ச்சியையும், நீக்கும் வகையில் அமைக்கப்பெறும் இரு வில்லைகளின் தொகுப்பேயாகும் இது. இரு சமதள குழிவில்லைகள் ஒன்றுக் கொன்று D தொலைவில் வைக்கப் பட்டிருக்கின்றன. மேலும் இவைகளின் குவியத் தூரங்கள் $f_1$, $f_2$, 3:1 என்ற விகிதத்தில் இருக்கும். இரு வில்லைகளும் ஒரே பருப் பொருளால் உருவாக்கப்பட்டவையாகையால், இவ் விரு வில்லைகளின் கூட்டமைப்பு நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியதாக அமைய, அவைகளுக்கு இடையே உள்ள தொலைவு $\frac{f_1+f_2}{2}$ என இருக்கவேண்டுமென்று கண்டோம். (4.12 பகுதியைக் காண்க), மேலும் கோளப்பிறழ்ச்சி

நீக்கவேண்டுமாயின் இவ் விரு வில்லைகளுக்கு இடையே உள்ள தொலைவு $f_1 - f_2$ ஆகவும் இருக்கவேண்டுமென்று 5 : 1 வது பகுதியில் பார்த்தோம்.

எனவே,

$$D = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

$$D = f_1 - f_2$$

என்ற இரு தகுதிகளையும் இந்தக் கூட்டமைப்பு கொண்டிருக்க வேண்டும். எனவே, ஹைஜயன், புலன் வில்லையின் குவியத்தூரம் $3f$ ஆகவும், விழிவில்லையின் குவியத்தூரம் $f$ ஆகவும், அவைகளுக்கு இடையே உள்ள தூரம் $2f$ ஆகவும் இருக்குமாறு ஒரு கண்ணருகுக் கருவியை அமைத்தார். இதுவே, ஹைஜயனின் கண்ணருகுக் கருவி எனப்படும்.

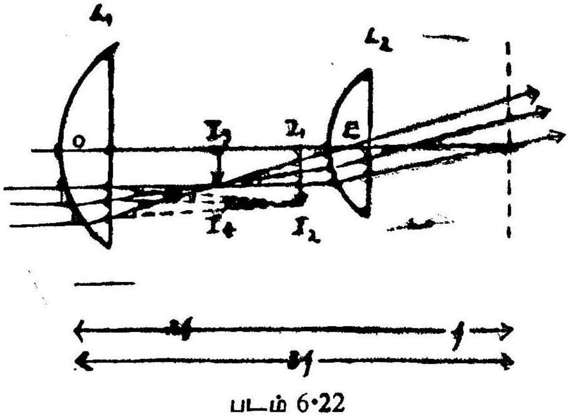
இவ் விரு வில்லைகளின் தொகுப்பின் குவியத்தூரம் F என்றால்,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{3f} - \frac{2f}{3f^2}$$

$$= \frac{2}{3f}$$

$$\therefore \quad F = \frac{3}{2} f$$

படம் 6·22 ஹைஜயனின் கண்ணருகுக் கருவி செயல்படும் முறையை விளக்குகிறது.



படம் 6·22

புலன்வில்லை இல்லாவிடில் தொலைபொருளிலிருந்து பொருளருகு வில்லைவழி வரும் ஒளிக்கதிர்கள் $I_1$, $I_2$ என்றவாறு குவியும் எனக் கொள்வோம். புலன்வில்லை இருப்பதால் இந்த பிம்பம் $I_3$, $I_4$ ஆக

விழுகிறது. $I_3, I_4$ விழி வில்லையின் குவியத்தில் இருப்பதால் இதனின்று வரும் ஒளிக்கதிர்கள் விழிவில்லைவழியாகப் பார்ப்பவரின் கண்களின் இணைக்கதிர்களாக விழுகின்றன.

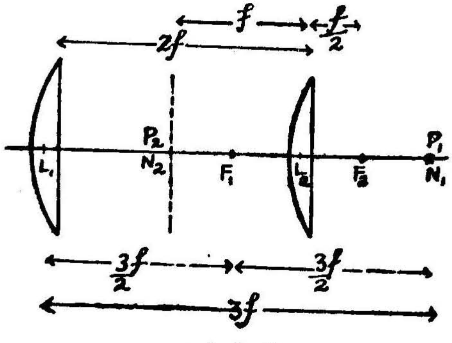
ஹைஜனின் கண்ணருகுக் கருவியின் கார்டினல் புள்ளிகள்: முதல், முதன்மைப்புள்ளி புலன் வில்லையிலிருந்து $\alpha$ தொலைவில் இருப்பதாகக் கொண்டால்,

$$\alpha = \frac{Fd}{f_2} \qquad \text{(சமன்பாடு 3·76 காண்க)}$$
$$= \frac{3}{2}\,\frac{f.\,2f}{f}$$
$$= 3f$$

இரண்டாம் முதன்மைப் புள்ளி, விழி வில்லையிலிருந்து $\beta$ தொலைவி லிருப்பதால்,

$$\beta = \frac{F\,.\,d}{f_1}$$
$$= \frac{3}{2}\,.\,\frac{f\,.\,2F}{f}$$
$$= f$$

ஆகவே, முதல் முதன்மைப்புள்ளி ($P_1$) புலன் வில்லையின் வலப் பக்கத்தில் அந்த வில்லையிலிருந்து $3f$ தொலைவில் அமைகிறது. இரண்டாம் முதன்மைப்புள்ளி ($P_2$) விழிவில்லையின் இடப்பக்கத்தில் அந்த வில்லையிலிருந்து $f$ தொலைவில் அமைகிறது. இரு வில்லைகளும் காற்றில் வைக்கப்படுவதால், அதிர்விலாப் புள்ளிகள், முதன்மைப் புள்ளிகளோடு ஒன்றும் (படம் 6·23).

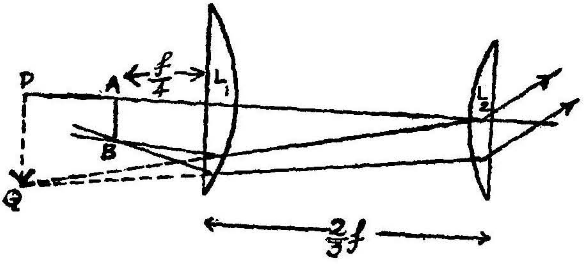



படம் 6·23

முதல் குவியம் $P_1$ னிலிருந்து $3/2\,f$ தொலைவிலும், இரண்டாம் குவியம் $P_2$ விலிருந்து $3/2\,f$ தொலைவிலும் அமைகின்றன.

பொருளருகு வில்லையினால் தோற்றுவிக்கப்பட்ட $I_1$, $I_2$ என்ற தலை கீழான மெய்பிம்பம் புலன்வில்லைக்கும், விழிவில்லைக்கும் இடையில் விழுந்து, விழிவில்லைக்கு மாயப் பொருளாக அமைகிறது. இந்த வகைக் கண்ணருகுக் கருவிகளை எதிர்க்குறியுடைய கருவிகள் (negative eye piece) என்போம். மேலும், முடிவான பிம்பங்களை அளவிட வேண்டுமாயின், குறுக்கிணைக் கம்பிகளைப் புலன் வில்லைக் கும், விழி வில்லைக்குமிடையில்தான் வைக்கவேண்டும். தொலை பொருளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் இரு வில்லைகளாலும் ஒளிவிலக் கத்திற்கு ஆட்படுகின்றன. ஆனால், குறுக்கிணைக் கம்பியிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் விழிவில்லை ஒன்றில்தான் விலக்கம் அடை கின்றன. எனவே, குறுக்கிணைக்கம்பியும் பொருளும் வெவ்வேறு அளவில் உருப்பெருக்கம் அடைகின்றன. ஆகவே, எதிர்க்குறி கண்ணருகுக் கருவிகளில் குறுக்கிணைக் கம்பிகளைப் பயன்படுத்த இயலாது. எனவே, பொருள்களின் உருப்பெருக்கத்தைமட்டுமே காண இவை பயன்படும். இவ்வகைக் கண்ணருகுக் கருவி பொருத்தப்பட்ட நுண்நோக்கி, தொலைநோக்கி இவைகளினால் உருப்பெருக்கத்தை அளவிட முடியாது.

6·21. ராம்ஸ்டன் கண்ணருகுக் கருவி (Ramsden eye piece): ஒரே அளவு குவியத்தூரங்களுடைய சமதள குழிவில்லைகள் இரண் டைக் குறிப்பிட்ட இடைவெளி விட்டு அமைக்கப்படும் தொகுப் பாகும் இது. இரு வில்லைகளின் குவியத்தூரம் $f$ என்றால் அவை களுக்கு இடையேயுள்ள தூரம் $2/3\,f$ இருக்குமாறு ராம்ஸ்டன் கண்ணருகுக் கருவி அமைக்கப்பட்டுள்ளது (படம் 6·24).




படம் 6·24

இவ் விரு வில்லைகளின் மொத்த குவியத் தூரம் F என்றால்,

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}-\frac{d}{f_1 f_2}$$

$$=\frac{1}{f}+\frac{1}{f}-\frac{2/3\,f}{f^2}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{F} = \frac{4}{3f}$$

$$\therefore \quad F = \frac{3}{4} f$$

எனவே, இவ் விரு வில்லைகளுக்கான இணைமாற்று வில்லை, முதல் வில்லையிலிருந்து வைக்கப்பட வேண்டிய தொலைவு,

$$\alpha = \frac{d \cdot F}{f_2}$$

$$= \frac{\frac{2}{3} f \cdot \frac{3}{4} \cdot f}{f}$$

$$= f/2$$

ஆகவே, இணைமாற்று வில்லை புலன்வில்லைக்கும், கண்ணருகு வில்லைக்குமிடையே அமைகிறது. பொருளருகு வில்லையினுல் ஏற்பட்ட தலைகீழான மெய்ப்பிம்பம், கண்ணருகுக் கருவிக்கான இணைமாற்று வில்லையின் குவியத்தில் அமைந்தால்தான் இந்தப் பிம்பம் கண்ணருகுக் கருவிவழி சென்று, பார்ப்பவர் கண்ணை அடையும்போது எண்ணிலாத் தொலைவில் இருப்பதுபோல் தோன்றும்.

கண்ணருகுக் கருவியின் குவியத் தூரம் $3f/4$ ஆகையால் பொருளருகு வில்லையினுல் ஏற்படும் பிம்பம், புலன் வில்லையிலிருந்து $\frac{3f}{4} - \frac{f}{2}$ அதாவது $\frac{1}{4} f$ தொலைவில் இருக்கும்.

எனவே, குறுக்கிணைக் கம்பி ஒன்றை இவ்விடத்தில் பொருத்த முடியும். குறுக்கிணைக் கம்பியும், பொருளருகு வில்லையால் ஏற்பட்ட பிம்பமும் கண்ணருகுக் கருவியின் இணைமாற்று வில்லைக்கு ஒரே தொலைவில் அமைவதால், உருப்பெருக்கமும் ஒரே அளவாக இருக்கும்.

ராம்ஸ்டன் கண்ணருகுக் கருவியில் நிறப்பிறழ்ச்சியை நீக்கும் வகையில், பிளிண்ட், கிரௌன் கண்ணுடிகளாலான வில்லைகள் முறையாக இணைத்துப் புலன்வில்லையாகவும், விழிவில்லையாகவும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இரு வில்லைகளின் கோளப் பரப்பும் ஒன்றையொன்று நோக்கியிருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கும். ஆகவே, கோளப்பிறழ்ச்சியும் குறைவாகவே இருக்கும்.

**(அ) ராம்ஸ்டன் கண்ணருகுக் கருவியின் கார்டினல் புள்ளிகள் :** முதல் முதன்மைப்புள்ளி, $P_1$ புலன் வில்லையிலிருந்து $\alpha$ தொலைவிலிருந்தால்,

$$\alpha = \frac{F \cdot d}{f_2}$$

$$= \frac{\frac{3}{4} f \cdot \frac{2}{3} f}{f}$$

$$= \frac{F}{2}$$

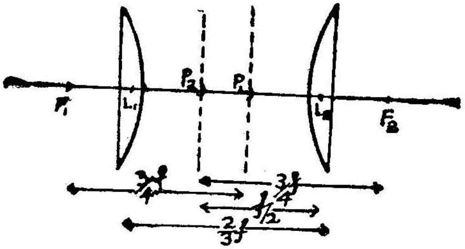
இரண்டாம் முதன்மைப்புள்ளி $P_2$ விழிவில்லையிலிருந்து $\beta$ தொலைவிலிருந்தால்,

$$\beta = \frac{F \cdot d}{f_1}$$

$$= \frac{\frac{3}{4} f \cdot \frac{2}{3} f}{f}$$

$$= \frac{F}{2}$$

படம் 6·25. $P_1$, $P_2$ இவை அமையும் இடங்களை விளக்குகிறது.




படம் 6·25

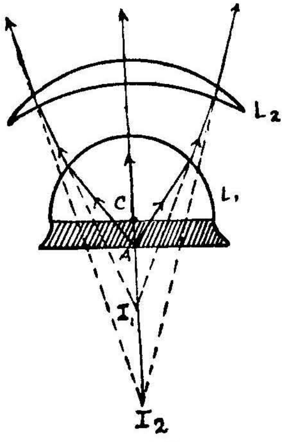
இந்த அமைப்பு காற்றில் வைக்கப்பட்டிருப்பதால் அதிர்விலாப் புள்ளிகள் முதன்மைப் புள்ளிகளோடு ஒன்றும்.

6·22. கண்ணருகுக் கருவிகளை ஒப்பிடுதல்.

| ஹியூஜின்ஸ் கருவி | ராம்ஸ்டன் கருவி |
|---|---|
| • ஒரு பொருளருகு வில்லையினல் ஏற்படும் பிம்பம், புலன் வில்லைக்கும் விழிவில்லைக்கும் இடையே விழுகிறது. எனவே, குறுக்கிணைக் கம்பிகளைப் பயன்படுத்த முடியாது. ஆகையால், உருப்பெருக் | பொருளருகு வில்லையால் ஏற்படும் பிம்பம் புலன் வில்லைக்கும் அப்பால் $f/4$ தொலைவில் விழுவதால், இதை ஒரு நேர் குறியுடைய கண்ணருகுக் கருவி என்கின்றோம். குறுக்கிணைக் கம்பிகளைப் பயன் |

| | |
|---|---|
| கத்தை அளவிட இயலாது. | படுத்த இயலும். எனவே, உருப்பெருக்கத்தையும் அளவிட முடியும். |
| 2. கோளப்பிறழ்ச்சியை நீக்கும் வகையில் இரு வில்லைகளுக்கு இடையே உள்ள தொலைவு $f_1 - f_2$ ஆக அமைந்திருக்கிறது. | கோளப்பிறழ்ச்சியை அறவே நீக்கும் வகையில் அமைக்கப் படவில்லை. எனினும், கோளப் பிறழ்ச்சி சிறும்மாகவே இருக்கிறது. |
| 3. நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கும் வகையில் இரு வில்லைகளுக்கிடையே உள்ள தொலைவு $\frac{f_1+f_2}{2}$ ஆக அமைந்திருக்கிறது. | நிறப்பிறழ்ச்சியை நீக்க வெவ்வேறு பிரிதிறனுடைய இரு பருப்பொருளினாலான வில்லைகள் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. |
| 4. இந்தக் கண்ணருகுவில்லையை ஒரு தனி நுண்ணோக்கியாகப் பயன்படுத்த இயலாது. | இந்தக் கண்ணருகு வில்லையை இரு தனி நுண்ணோக்கியாகப் பயன்படுத்த இயலும். |
| 5. இரு முதன்மைப் புள்ளிகளும் குறுக்காக அமைந்துள்ளன. | இரு முதன்மைப் புள்ளிகளும் குறுக்காக அமைந்துள்ளன. |
| 6. அதிர்விலாப்புள்ளிகள் முதன்மைப் புள்ளிகளோடு ஒன்றுகின்றன. | அதிர்விலாப்புள்ளிகள் முதன்மைப் புள்ளிகளோடு ஒன்றுகின்றன. |

6·23. ஆபேயின் அமிழ்ப்புப் பொருளருகு வில்லை (Abbe's oil immersion objective): ஒரு நுண்ணோக்கியில் பொருளருகுவில்லை நிறப்பிறழ்ச்சி, கோளப்பிறழ்ச்சி போன்ற பிம்பக் குறைகள் நீக்கப்பட்ட வில்லைகளாக இருத்தல் வேண்டும். அவ்வாறான ஒரு பொருளருகு வில்லையை ஆபே என்பவர் கண்டார்.



படம் 6·26

நுண்ணோக்கியின் பொருளருகு வில்லை ($L_1$) ஓர் அரைக்கோள வில்லையாகும். வில்லையின் சமதளப்பரப்பு வில்லையின் ஒளி விலகெண்ணையே கொண்ட செடார் மர எண்ணெயின் மேற்பரப்போடு ஒட்டி அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 6·26). $L_1$ வில்லையின் வளைவுமையம் C-யிலிருந்து $\frac{R}{\mu}$ தொலைவிலுள்ள A என்ற புள்ளியில்

பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. கோள வில்லையின் வளைவு ஆரம் R ஆகும். பொருளும் செடார் மர எண்ணெயிலேயே இருப்பதால் பொருளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் சமதளப் பரப்பில் ஒளி விலக்க மடையாமல் $L_1$னின் கோளப் பரப்பை அடைகிறது. வளைவு மையத்திலிருந்து $R/\mu$ தொலைவில் A இருப்பதால் C-யிலிருந்து $\mu R$ தொலைவிலுள்ள $I_1$ என்ற புள்ளி A-க்குப் பரிமாற்றப் புள்ளி யாக இருக்கும். Aயும் $I_1$ம் வில்லையின் கோளப் பரப்பிற்கு அப்ளனுட்டிக் புள்ளி (aplanatic point)களாகும். எனவே, Aயில் வைக்கப்பட்ட பொருளின் பிம்பம் கோளப் பிறழ்ச்சி அற்றதாக $I_1$ ல் விழும். மேலும்,

$$\text{உருப்பெருக்கம்} = \frac{CI_1}{CA}$$

$$= \frac{\mu R}{R/\mu}$$

$$= \mu^2$$

$L_2$ என்ற இரண்டாவது வில்லை ஒரு குழி-குவி வில்லையாகும். $L_2$ வின் குழிப்பரப்பின் வளைவு மையம் $I_1$ அமையுமாறு $L_2$வை அமைத்துக்கொண்டால், $I_1$ லிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் $L_2$வின் குழிப் பரப்பிற்கு நேர்குத்துப்படுகையாக அமையும். எனவே, ஒளி விலக்க மடையாமல் $L_2$,வின் குவி பரப்பை அடைகின்றன. இந்தப் பரப்பிற்கு $I_1$ஐ ஓர் அப்ளனுட்டிக் புள்ளியாக இருக்குமாறு அமைத்துக்கொண்டால் மற்றோர் அப்ளனுட்டிக் புள்ளியான $I_2$வில் $I_1$ன் பிம்பம் தோன்றும். இது மேலும் உருப்பெருக்கத்தைக் கொடுக்கும்.

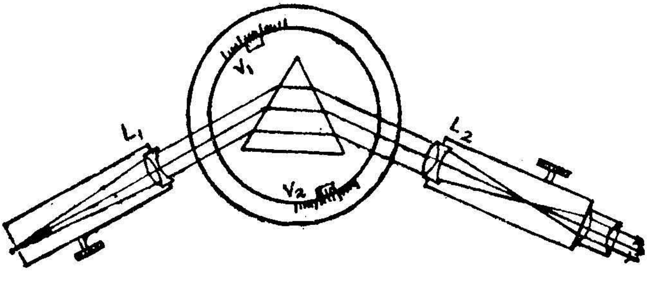
6·24. நிறமாலை மானி (Spectrometer) : நிற மாலை மானி மூன்று முக்கிய பாகங்களைக் கொண்டது. 1. இணையாக்கி, 2. மேசை, 3. தொலை நோக்கி.

1. இணையாக்கி : ஓர் உலோகக் குழலில் ஒரு சிறிய பிளவு ஒரு முகப்பிலும், நிறப் பிறழ்ச்சி நீக்கிய $L_1$ என்ற வில்லை ஒன்று மற்றொரு முகப்பிலும் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. பிளவின் அளவை தேவைக் கேற்பச் சரி செய்துகொள்ள ஒரு திருகு இணையாக்கியின் பக்க வாட்டில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. பிளவிற்கும், $L_1$ வில்லைக்கும், இடையில் உள்ள தொலைவைத் தேவைக்கேற்ப அமைத்துக் கொள்ளும் வகையில் மற்றொரு திருகு வைக்கப்பட்டுள்ளது.

2. மேசை : நிறமாலைமானியின் மையம் வழியாகச் செல்லும் ஒரு செங்குத்துக் கோட்டை அச்சாகக்கொண்டு சுழலும்வகையில் மேசை அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த மேசையின் மட்டத்தைச் சரிசெய்ய, மூன்று மட்டப்படுத்தும் திருகுகள் மேசையோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

3. தொலைநோக்கி: இதன் அமைப்பு வானவியல் தொலை நோக்கியை ஒத்தது. இதில் $L_2$ என்ற வில்லை இணைக்கதிர்களைக் குவித்துக் கண்ணருகுக் கருவியின்முன் பக்கத்தே ஒரு மெய் பிம்பத்தினைத் தோற்றுவிக்கிறது, இத்துடன் பொருத்தப்பட்டுள்ள கண்ணருகுக் கருவி ராம்ஸ்டன் முறையில் இயங்குவதாகும். ஒரு குறுக்கிணைக் கம்பியும் இந்தக் கண்ணருகுக் கருவியோடு பொருத் தப்பட்டுள்ளது. இந்தத் தொலைநோக்கி நிறமாலை மானியின் மையத்தில் ஒரு வட்டமான தட்டுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்தத் தட்டின்மேல் கோணக்குறிகள் இடப்பட்டுள்ளன. இந்தத் தட்டும், இதனுடன் இணைந்துள்ள தொலைநோக்கியும், தட்டின் மையத்தின்வழி செல்லும் ஒரு செங்குத்துக்கோட்டை அச்சாகக் கொண்டு சுழல இயலும். இந்தத் தட்டின்மீது மற்றொரு தட்டு அதே மையத்தில் தனியாகவும் அல்லது வேண்டும்போது மேசை யோடு இணைந்தும் சுழலக்கூடிய வகையில் பொருத்தப்பட் டிருக்கிறது. இந்தத் தட்டில் எதிரெதிராக, $V_1$ $V_2$ என்ற வெர் னியர் அளவீடு பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது.

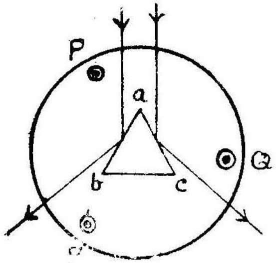
தொலைநோக்கி, இணையாக்கி ஆகிய இரண்டினது ஒளியியல் அச்சுகளும் மேசை, தொலைநோக்கி ஆகியவற்றின் பொதுச் சுழற்சி அச்சில் ஒன்றையொன்று வெட்டுமாறும், இந்தச் சுழற்சி அச்சுக்கு செங்குத்தாக இருக்குமாறும் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. நிறமாலை மானி ஒன்றைப் படம் 6·27 விளக்குகிறது.




படம் 6·27

*(அ)* நிறமாலை மானியைச் சோதனை ஆரம்ப நிலையில் சரி செய்யும் முறை: முதலில் தொலைநோக்கியின் கண்ணருகுக் கருவியைச் சரிசெய்து அதனுடன் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் குறுக்கிணைக் கம்பி தெளிவாகத் தெரியும்படி அமைத்துக்கொள்ளவேண்டும். பின்னர்த் தொலைநோக்கியைத் தொலைபொருள் ஒன்றினை நோக்கித் திருப்பி அதன் பிம்பம் தெளிவாகத் தெரியுமாறு $L_2$வுக்கும் கண்ணருகுக் கருவிக்குமிடையேஉள்ள தொலைவைச் சரிசெய்துகொள்ளவேண்டும். பிறகு நிறமாலை மானியை ஒற்றைநிற ஒளிமூலம் ஒன்றின் முன்

வைத்து நிறமாலை மானியின் வழியாகத் தொலைநோக்கியை அடையும் ஒளி, ஒரு மெல்லிய நேர்குத்துக்கோடுபோல் இருக்குமாறு இணையாக்கியின் பிளவைச் சரிசெய்து கொள்ளவேண்டும். இப்பொழுது இணையாக்கியின் $L_1$க்கும் பிளவுக்குமிடையில் உள்ள தொலைவை மாற்றி, தொலைநோக்கியில் ஒளிக்கோடு தெளிவாகவும் கூர்மையாகவும் விழுமாறு அமைத்துக்கொள்ளவேண்டும்.

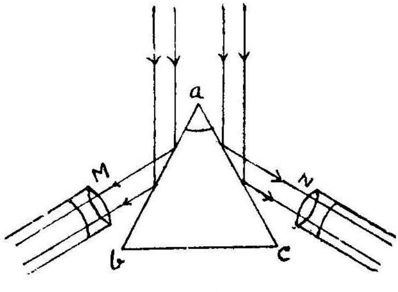



படம் 6·28

நிறமாலை மானி மேசையின் மட்டத்தைச் சரிப்படுத்த PQR என்ற மூன்று திருகுகள் கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஒரு முப்பட்டகத்தைப் படம் 6·28-ல் காட்டியவாறு PQ என்ற திருகுகளைச் சேர்க்கும் நேர்கோட்டிற்கு முப்பட்டகத்தின் ஒரு பக்கம் நேர்குத்தாக இருக்கும்படி இருக்கவேண்டும். இணையாக்கியிலிருந்து வரும் இணைக்கதிர்கள் முப்பட்டகத்தின் *ab*, *ac* என்ற இரு பக்கங்களிலும் விழுமாறு, முப்பட்டகத்தை வைத்துக்கொள்வோம். *ab*, *ac* என்ற பக்கங்களிலிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்ட பிளவின் பிம்பங்கள், தொலைநோக்கியின் மையத்தில் விழுமாறு P, Q, R திருகுகளைச் சுழற்றி மேசைமட்டத்தைச் சரி செய்து கொள்ளலாம்.

(ஆ) ஒரு முப்பட்டகத்தின் விலக்குக் கோணத்தைக் காணல்: நிறமாலை மானியைச் சரிசெய்த பிறகு, ஒற்றை நிற ஒளிமூலம் ஒன்றினால் நிறமாலை மானியின் பிளவு ஒளியூட்டப்படுகிறது.

கொடுக்கப்பட்ட முப்பட்டகத்துள் விலக்குக் கோணம் A என்றால் *ab*, *ac* என்ற ஒளி விலகுப் பரப்புகளில், இணையாக்கியிலிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றைகள் விழுமாறு, முப்பட்டகம் நிறமாலை மானியின் மேசைமீது வைக்கப்படவேண்டும் (படம் 6·29). இந்தப் பரப்புகளில் விழும் ஒளிக்கற்றைகள் எதிரொளிக்கப்பட்டு, படத்தில் காட்டியவாறு M, N என்ற திசையில் செல்கின்றன.



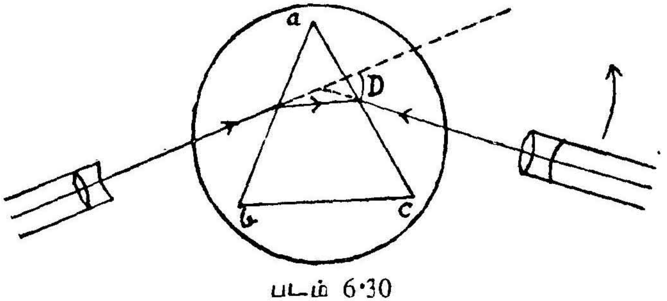

படம் 6·29

தொலைநோக்கியைச் சுழற்றி இவ் விரு திசைகளிலும் வைத்துப் பிளவின் பிம்பம் குறுக்கிணைக் கம்பியின் செங்குத்துக் கம்பியோடு பொருந்துமாறு அமைத்துக்கொள்ளல் வேண்டும். $V_1$, $V_2$ என்ற வெர்னியர்களின் அளவைக் குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். இவற்றிலிருந்து இரு கதிர்களுக்கிடையில் உள்ள கோணம் θ வைக் கணக்கிடலாம். படுகதிர்கள், இணைக்கதிர்கள் எதிரொளிப்புத் தளங்கள் ஒன்றுக்கொன்று A கோணம் சாய்ந்திருக்கின்றன. எனவே, இவ் விரு தளங்களிலிருந்தும் எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர்கள் ஒன்றுக்கொன்று 2 A கோணம் சாய்ந்திருக்கும்.

எனவே, $$\theta = 2\,A$$

$$\therefore \quad A = \frac{\theta}{2}$$

(இ) ஒரு முப்பட்டகத்தின் சிறும திசை மாற்றக் கோணம் காணல்: முப்பட்டகத்தைப் படம் 6·30-ல் காட்டியவாறு வைத்துக் கொள்ளல் வேண்டும். *ab* என்ற விலகு பரப்பில் விழும் ஒளிக் கதிர்கள் ஒளி விலகலடைந்து, முப்பட்டகத்தினுள் செல்லுகின்றன. *a c* என்ற பரப்பில் மீண்டும் ஒளிவிலக்கமடைந்து தொலைநோக்கியை அடைகின்றன.




படம் 6·30

இப்பொழுது படுஒளிக் கற்றையின் திசைமாற்றம் குறையுமாறு நிறமாலை மானியின் மேசையைச் சுழற்றவேண்டும். அவ்வாறு சுழற்றும்போது பிளவின் பிம்பம், தொலைநோக்கியின் பார்வைப் புலனிலிருந்து மறையாமலிருக்க, தொலைநோக்கியையும் சேர்த்துச் சுழற்றவேண்டும். மேசை சுழற்றப்படும்போது, திசைமாற்றக் கோணம் சீராகக் குறைந்துகொண்டேவந்து முப்பட்டகத்தின் ஒரு நிலையில் சிறு அளவை அடைகிறது. அதற்குப்பிறகு மேசையை அதே திசையில் சுழற்றினாலும் பிளவின் பிம்பம் எதிர்த்திசையில் திரும்பும். எதிர்த்திசையில் திரும்பத் தொடங்குகின்ற இடத்தில் சுழற்றுவதை நிறுத்தி, சிறும திசை நிலையில் பிளவின் பிம்பத்தைக் காணுமாறு தொலைநோக்கியைப் பொருத்திக்கொண்டு வெர்னியர்

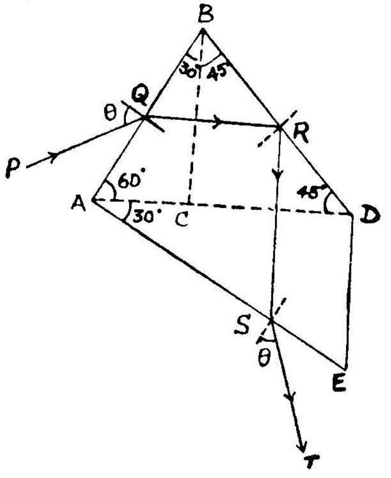
அளவைக் குறித்துக் கொள்ளல் வேண்டும் ($\theta_3$). பிறகு முப்பட்ட கத்தை மேசையிலிருந்து எடுத்துவிட்டுப் பிளவின் நேரான பிம்பம், தொலைநோக்கியின் குறுக்கிணைக் கம்பியின் செங்குத்துக் கம்பியோடு இணையுமாறு வைத்துக்கொண்டு, அப்பொழுதுள்ள வெர்னியர் அளவைக் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும் ($\theta_4$), சிறு மதிசை மாற்றக் கோணம் D எனின், $D=\theta_3-\theta_4$

(ஈ) முப்பட்டகப் பருப்பொருளின் விலகெண்ணைக் காணல்: கொடுக் கப்பட்ட முப்பட்டகத்தின் விலகுக் கோணம் A என்றும், அதன் சிறும திசைமாற்றக் கோணம் D என்றும் இருந்தால், சமன்பாடு 3·26-ன்படி, அந்த முப்பட்டகத்தின் விலகெண்,

$$\mu=\frac{\sin\frac{A+D}{2}}{\sin A/2}$$

நிறமாலை மானியின் உதவிகொண்டு ஒரு முப்பட்டகக் கண்ணாடியின் பிரிதிறன், அதன் மாறுநிலைக் கோணம் போன்றவற்றையும் காண இயலும். ஒளியின் அலைநீளங்களைக் கணக்கிடவும் நிறமாலை மானி பயன்படுகிறது.

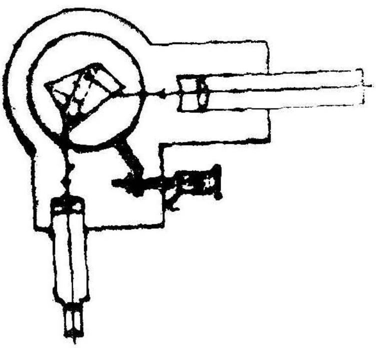
6·25. திசையுரு நிறமாலை மானி: (Constant deviation sepctrometer): இந்த நிறமாலை மானியில், சிறப்பு அமைப்புக் கொண்ட முப்பட்டகம் ஒன்று பயன்படுத்தப்படுகிறது. அந்தப் பட்டகத்தின் ABC என்ற பகுதி ஒரு 60°—30°—90° முப்பட்டக




படம் 6·31.

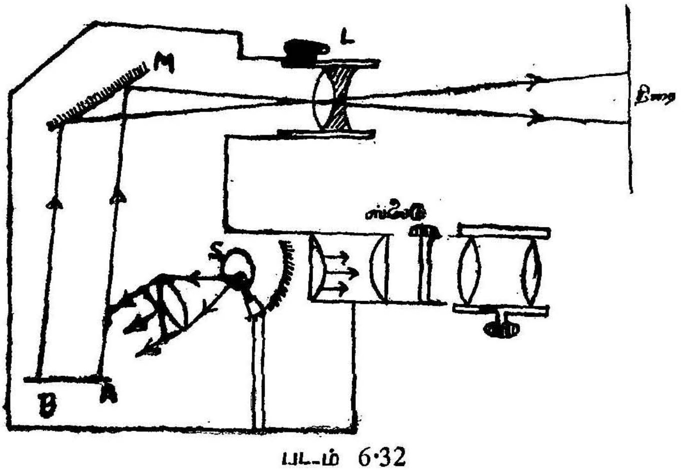
மாகும். BCD என்ற முப்படகம் முதல் முப்பட்டகத்தின் BC பக்கத் தோடு இணைத்து அமைக்கப்பட்ட 45°—45°—90° முப்பட்டகமாகும்.

ADE என்ற மற்றொரு முப்பட்டகம் AD என்ற பக்கத்தோடு ஒட்டி இணைந்த 30°—60°—90° முப்பட்டகமாகும் (படம் 6·31). PQ என்ற θ சாய்படுகை உள்ள ஒரு கதிர் AB என்ற தளத்தில் ஒளி விலக்கம் ஏற்பட்ட பிறகு BD-யில் R என்ற படுகைப்புள்ளியில் விழுகின்றது. QR, BD தளத்திற்கு 45° சாய்வில் விழுகிறது. எனவே, முழு அக எதிரொளிப்புமூலம் இந்த ஒளிக்கதிர் S-ஐ அடைகிறது. பிறகு மீண்டும் ஒளிவிலக்க மடைந்து AE என்ற தளத்தில் அதன் குத்துக்கோட்டிலிருந்து θ அளவு சாய்ந்த ST என்ற திசையில் வெளியேறும். PQவும் STயும் ஒன்றுக்கொன்று 90° சாய்ந்திருக்கும்.



இணை படம் 6·32

படம் 6·32 ஒரு திசையுரு நிறமாலைமானி அமைப்பைக் காட்டுகிறது. இதில் இணையாக்கியும், தொலைநோக்கியும் ஒன்றுக்கொன்று 90° கோணம் இருக்குமாறு, நிலையாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. C என்ற ஒரு திருகு, முப்பட்டகத்தைக்கொண்ட மேசையைச் சீராகத் திருப்ப உதவுகிறது. இந்த மேசையோடு இணைக்கப்பட்ட உருளையில் அளவீடுகள், அலைநீளங்களாகவே குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. பட்டகத்தின் வெவ்வேறு நிலைகளில், வெவ்வேறு அலைநீளமுடைய ஒளிக்கற்றைகள் தான் தொலைநோக்கியின் குறுக்கிணைக் கம்பியின் செங்குத்துக் கம்பியுடன் இணையமுடியும். அவ்வாறு

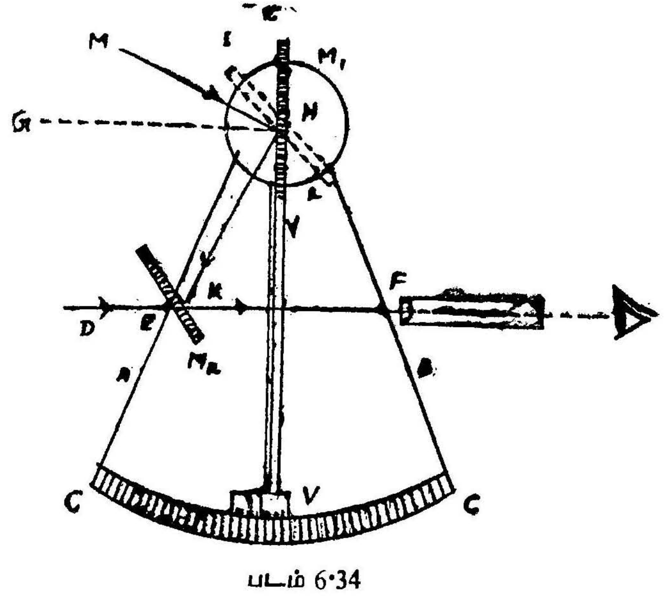



படம் 6·32

இணையும் ஒளிக்கதிருக்கான அலைநீளத்தை உருளையிலுள்ள அள வீட்டிலிருந்து கண்டுகொள்ளலாம்.

6·26. எப்பிடயஸ் கோப் (Epidiascope) : இது ஒளிபுகாப் பொருளின் பிம்பத்தைத் திரையில் வீழ்த்துவதற்கு ஏற்ற முறையில் அமைக்கப்பட்ட சாதனமாகும். படம் 6·32 செயல்படும் முறையை விளக்குகிறது. AB என்ற ஓர் ஒளிப்புகாப் பொருள், ஒளிவீசுதிறன் மிகையாக்கக்கொண்ட S என்ற ஒரு மின் விளக்கால் ஒளியூட்டப்படுகிறது. M என்ற சமதள ஆடி, ஒளிபுகாப் பொருளிலிருந்து, சிதறிய ஒளியை எதிரொளித்து L என்ற வில்லைமூலம் திரையில் குவிக்கிறது. இதனால் திரையில் AB-யின் பிம்பத்தைக் காணலாம். S-க்கு நேரான மற்றொரு வில்லை அமைப்பின்மூலம் நிழல் (slide) படங்களையும் திரையில் வீழ்த்தலாம்.

6·27. செக்ஸ்டண்ட் (Sextant) : இரு பொருள்கள் அப்பொருள்களைக் காண்பவரின் கண்ணில், அவற்றிற்கிடையே அமைக்கும் கோணத்தை அளக்கும் கருவி செக்ஸ்டண்ட் எனப்படும்.




படம் 6·34

இது, கிட்டத்தட்ட 60° கோணத்தில் சாய்ந்துள்ள இரு அலுமினிய (A, B) சட்டங்களைக் கொண்டதாகும் (படம் 6·34).

இவ் விரு சட்டங்களையும் இணைக்கும் மேல் பகுதியில் ஒரு வட்டமான மேடை உள்ளது. கீழ்ப்புறம், இவ் விரு சட்டங்களையும் இணைக்கும் CC என்ற வட்டப்பரிதியில் கோண அளவை பொறிக்கப்

பட்டிருக்கிறது. இரு சட்டங்களுக்குமிடையில் இச் சட்டங்களின் தளத்திற்கு நேர்குத்தான தளத்தில் அச்சையுடைய VVஎன்ற ஒரு சுழலும் சட்டம் H-ல் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. அதன் அடிப்பகுதியில் CC யின்மேல் பொருந்தும் வகையில் ஒரு வெர்னியர் அளவு பொறிக்கப்பட்டிருக்கிறது. $M_1$ என்ற ஒரு சமதள ஆடி VVயின் மேற்புறம், செங்குத்தாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. $M_1$ என்ற அலுமினியச் சட்டத்தில் கிட்டத்தட்ட B-க்கு இணையாக மற்ெருரு $M_2$ என்ற சமதள ஆடிபொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்த ஆடியின் கீழ்ப்பகுதி ரசம் பூசப்பட்டும் மேல் பகுதி, ரசம் பூசப்படாத, ஓர் ஒளிபுகு கண்ணுடியாகவும் இருக்கிறது. B ல் ஒரு தொலைநோக்கி பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்தத் தொலைநோக்கியின் அச்சு $M_2$-வின் நேர்குத்துக் கோட்டிற்கு 30° சாய்ந்து இருக்கும்.

தொலை பொருள் ஒன்றைநோக்கி செக்ஸ்டண்டைத் திருப்புவோம். பொருளிலிருந்து வரும் DE என்ற கதிர் $M_2$-வின் ஒளிபுகு பகுதியால் கடத்தப்பட்டு, நேராகத் தொலைநோக்கியை அடைகிறது. $M_1$ என்ற ஆடி, $M_2$க்கு இணையாக இருப்பதாகக் கொள்வோம் (நிலை 1). அதே பொருளிலிருந்து வரும் GH என்ற மற்ெருரு கதிர் $M_1$-ல் விழுந்து HK வழியாக எதிரொளிக்கப்படுகிறது. இக் கதிர் $M_2$ ஆடியில் 30° படுகோணமுடையதாக இருக்கிறது. எனவே, $M_2$-வின் ரசம் பூசப்பெற்ற அடிப்பகுதியில் மீண்டும் எதிரொளிக்கப்பட்டு KF பாதை வழியே தொலைநோக்கியை அடைகிறது. எனவே, தொலைநோக்கியின் பார்வைப் புலத்தில், கீழ்ப் பகுதிகளில் எதிரொளித்த கதிர்களும் மேல் பகுதிகளில் பொருளிலிருந்து $M_2$ ஆடியின்வழியாகக் கடத்தப்பட்ட கதிர்களும் வந்தடையும். எனவே, இக் கதிர்கள் ஒன்றுசேர்ந்து தொலைநோக்கியின் கண்ணருகுக் கருவிமூலம் பார்க்கும்பொழுது ஒரே பிம்பத்தைக் கொடுக்கும். இந்த நிலையில் வெர்னியர் அளவு சுழியாக இருக்கும்.

இப்பொழுது இரண்டாவது பொருளொன்று MH என்ற திசையில் ஒளிக்கதிர்களை வீசுகிறது எனக்கொள்வோம். இந்த இரண்டாவது பொருளை, தொலைநோக்கி கொண்டு பார்க்கவேண்டுமாயின், VV என்ற சட்டத்தைச் சுழற்றவேண்டும். இப்பொழுது இதனுடன் பொருத்திய $M_1$ ஆடியும் சுழலும். $M_1$ *(2)* நிலைக்கு வந்தால், தொலைநோக்கியில் இந்த இரண்டாவது பொருளின் பிம்பத்தைக் காணலாம். இந்த நிலையில், $M_1$ ஆடி சுழற்றப்பட்ட கோணம் MHG-ல் சரிபாதியாகும். எனவே, VV சட்டத்திலுள்ள வெர்னியரைக்கொண்டு இரு பொருள்களும், ஒன்றுக்கொன்று பார்ப்பவரின் கண்களில் அமைக்கும் கோணத்தைக் காண இயலும். CC என்ற கோண அளவை, $M_1$ ஆடி சுழற்றப்படும் ஒவ்வொரு கோணத்திற்கும், இரண்டு மடங்காக, அளவிடப்பட்டிருக்கிறது.

ஆகவே, வெர்னியர் காட்டும் கோண அளவு, இரு பொருள்களும், பார்ப்பவரின் கண்ணில் அமைக்கும் கோணத்தை நேரடியாகக் கொடுக்கும்.

கடலில் செல்கின்றவர்கள், சூரியன் அமைக்கும் கோணத்தைக் காண, இந்தக் கருவி பெரிதும் பயன்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. ஒரு நுண்ணோக்கியின் பொருளருகு வில்லையின் குவியத்தூரம் 2 செ.மீ. அதன் கண்ணருகு வில்லையின் குவியத் தூரம் 20/9 செ.மீ. இரு வில்லைகளும் ஒன்றுக்கொன்று 8 செ.மீ. தொலைவில் அமைந்திருக்கின்றன. ஒரு பொருளின் பிம்பம் கண்ணருகு வில்லையிலிருந்து 20 செ. மீ. தொலைவில் தெளிவாகத் தெரியும்படி, பொருள் வைக்கப் பட்டிருக்கிறது. நுண்ணோக்கியின் உருப்பெருக்குத் திறனையும், பொருளின் தொலைவையும் காண்.

விடை :

$$f = \frac{20}{9} \text{ செ.மீ.}$$

$$v = -20 \text{ செ.மீ. (மாயபிம்பம்)}$$

$$u = ?$$

நமக்குத் தெரிந்த சமன்பாட்டின்படி,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{u} = \frac{9}{20} + \frac{1}{20} = \frac{10}{20} = \cdot 5 \text{ செ. மீ.}$$

$$\therefore \quad u = 2 \text{ செ. மீ.}$$

எனவே, கண்ணருகுக் கருவியிலிருந்து பொருள் 2 செ. மீ. தொலைவிலுள்ளது. இந்த மாயப் பொருள், பொருளருகு வில்லைக்கு மெய் பிம்பம் ஆகும். பொருளருகு வில்லையிலிருந்து இது V தொலைவிலிருந்தால்,

$$V = 8-2=6 \text{ செ. மீ.}$$

$$F = 2 \text{ செ. மீ.}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{U} = \frac{1}{F} - \frac{1}{V}$$

$$= \frac{1}{2} - \frac{1}{6} = \frac{1}{3} \text{ செ. மீ.}$$

$$\therefore \quad U = 3 \text{ செ. மீ.}$$

$$m = \frac{V}{U}\left(1 + \frac{D}{f}\right) = \frac{6}{3}\left[1 + \frac{20 \times 9}{20}\right]$$

$$= 20.$$

2. சூரியன் ஒளிக்கற்றை ஒரு ராம்ஸ்டன் கண்ணருக் கருவியில் விழுகிறது. பிம்பம் அமையும் இடத்தைக் காண். பிம்பத்தை எங்கிருந்து அளவிட வேண்டும்? (கண்ணருக் கருவியின் இரு வில்லைகளின் குவியத்தூரமும் 3 செ. மீ. ஆகும்.)

$$f = 3 \text{ செ. மீ.}$$

இரு வில்லைகளுக்குமிடையே உள்ள தொலைவு $= \frac{2}{3} f$

$$= \frac{2}{3} \times 3 = 2 \text{ செ.மீ.}$$

இணைமாற்று வில்லையின் குவியத் தூரம்,

$$F = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - d}$$

$$= \frac{3 \cdot 3}{3+3-2} = \frac{9}{4} \text{செ.மீ.}$$

பொருள் முடிவிலாத் தொலைவில் இருப்பதால், பிம்பம் இரண்டாம் குவியத்தில் அமைகிறது. எனவே, இரண்டாம் முதன்மைப் புள்ளியிலிருந்து பிம்பம் $\frac{9}{4}$ செ.மீ. தொலைவில் அமைகிறது.

பொருள், முடிவிலாத் தொலைவில் இருப்பதால், இரண்டாம் முதன்மைப்புள்ளி அமையும் இடம்,

$$\beta = \frac{dF}{f_1} = \frac{\frac{2 \times 9}{4}}{3} = \frac{3}{2} \text{செ.மீ.}$$

விழி வில்லையிலிருந்து $\frac{3}{2}$ செ.மீ. இரண்டாம் முதன்மைப்புள்ளி அமைகிறது.

பயிற்சி

1. ஒரு நல்ல ஒளிப்படக் கருவியை உருவாக்கத் தேவையான அமைப்பு முறைகள் யாவை ?
2. கண்ணில் ஏற்படும் குறைகள் எவை ? அவைகளை நீக்குவது எங்ஙனம் ?
3. ஒரு கூட்டு நுண்ணோக்கி செயல்படும் முறையை விவரி.
4. ஹியூஜினின் கண்ணருகுக் கருவி, ராம்ஸ்டன் கண்ணருகுக் கருவி இவை செயல்படும் முறையை விவரி. இவ் விரு கண்ணருகுக் கருவிகளையும் ஒப்பிடுக.

5. ஒளி எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கிகள் எந்தெந்த வகையில், விலகல் முறையில் அமைக்கப்படும் தொலைநோக்கிகளைவிடச் சிறந்தவை ?

6. ஒரு செக்ஸ்டண்ட் செயல்படும் முறையைப் படத்துடன் விளக்குக.

7. அண்மைப் புள்ளி 15 செ.மீ. கொண்ட ஒருவர், 25 செ.மீ. தொலைவிலுள்ள ஒரு புத்தகத்தைப் படிக்கவிரும்பினுல், அவர் அணியவேண்டிய வில்லையின் குவியத் தூரத்தைக் காண்.

8. மீசிறு தொலைவு 90 செ.மீ. கொண்ட ஒருவர், ஒரு வில்லையை அணிவதால், 25 செ.மீ.யில் மீச்சிறு தொலைவு அமைகிறது. அவர் பயன்படுத்தும் வில்லையின் குவியத் தூரம் என்ன ?

9. ஒரு கூட்டு நுண்ணோக்கியின் பொருளருகு வில்லை, கண்ணருகு வில்லை இவைகளின் குவியத் தூரங்கள் முறையே, 1 செ.மீ., 5 செ.மீ. ஆகும். பொருளருகு வில்லையிலிருந்து 11 மி. மீ. தொலைவில் உள்ள பொருளின் முடிவான பிம்பம் கண்களிலிருந்து 25 செ மீ. தொலைவில் அமைகிறது. நுண்ணோக்கியின் உருப்பெருக்கம் என்ன?

10. ஒரு தொலைநோக்கியின் பொருளருகு வில்லைக்கும், கண்ணருகு வில்லைக்குமிடையே உள்ள தொலைவு 105 செ.மீ. அதன் உருப்பெருக்கம் 20. இப்பொழுது கண்ணருகுக் கருவியை மேலும் 5 செ.மீ. வெளிப்புறம் நகர்த்தி, ஒரு பொருளைத் தெளிவாகப் பார்த்தால், இப் பொருள் தொலைநோக்கியின்முன் எவ்வளவு தொலைவில் உள்ளது ?

11. ஒரு கூட்டு நுண்ணோக்கியின் பொருளருகு வில்லை, கண்ணருகு வில்லை இவைகளின் குவியத் தூரங்கள் முறையே 0·5 செ.மீ., 2·0 செ.மீ. ஆகும். முடிவிலாத் தொலைவில் பிம்பம் அமையுமாறு, தொலை நோக்கி சரிசெய்யப்பட்டால் கண்ணருகு வில்லைக்கும் பொருளருகு வில்லைக்குமிடையே உள்ள தொலைவு என்ன ? (உருப்பெருக்கம் 500. தெளிவுப் பார்வையின் மீச்சிறு தொலைவு 25 செ.மீ.).

12. தெளிவுப் பார்வையின் மீச்சிறு தொலைவு 90 செ.மீ. உள்ள ஒருவர் 30 செ.மீ. தொலைவிலுள்ள ஒரு புத்தகத்தைப படிக்க விரும்பினுல், அவர் அணியவேண்டிய வில்லையின் திறனைக் காண்.

# 7. ஒளியின் வேகம்

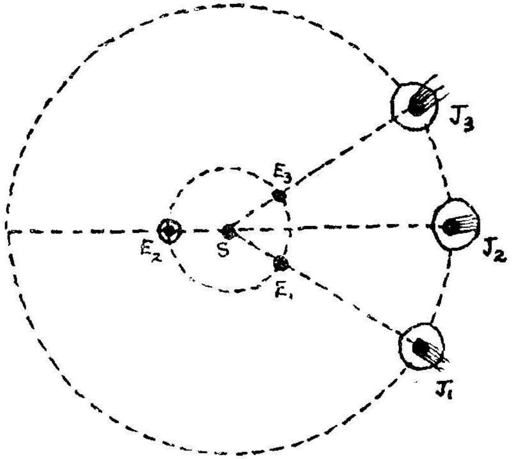
## (Velocity of Light)

7·1. இன்றைய பௌதிக உலகில், வெற்றிடத்தில் ஒளியின் வேகத்தின் அளவு, மிகவும் முக்கியத்துவம் வாய்ந்த அடிப்படை அலகாகக் கருதப்படுகிறது. உதாரணமாகப் பொருள் திணிவை ஆற்றலாக்கினால், ஆற்றல் $E = mc^2$ என்ற சமன்பாட்டின்படி கிடைக்கும் என்று ஐன்ஸ்டீன் (Einstien) கணக்கிட்டுள்ளார். இதில் C ஒளியின் வேகமாகும். ஆகையால் ஆற்றலை அளவிட ஒளியின் வேகத்தின் அளவு தெரியவேண்டியுள்ளது.

ஒளியின் வேகம், அளத்தற்கரியது. அது எண்ணிலாதது என்று 17ஆம் நூற்றாண்டுவரை நம்பப்பட்டு வந்தது. எனினும் ஒளியின் வேகத்தை அளப்பதற்கான முதல் முயற்சியை 1660-ல் கலீலியோ தொடங்கினார்.

7·2. கலீலியோ சோதனை : இரு பார்வையாளர்களைப் பல மைல்களுக்கப்பாலுள்ள இரு மலைச்சிகரங்களில் நிறுத்தி ஒருவரை முதலில் மூடியிருந்த ஓர் ஒளி விளக்கைத் திறக்கச் செய்தார். அந்த விளக்கின் ஒளியை மற்றவர் கண்டதும் அவர் தம் விளக்கின் மூடியைத் திறந்தால் இந்த ஒளி, முதல் பார்வையாளரை அடையும். முதல் பார்வையாளர் மூடியைத் திறந்த நேரத்திலிருந்து இரண்டாம் விளக்கிலிருந்த அவர் ஒளியைக் காணுவதற்கு இடைப்பட்ட காலத்தை அளந்தால் இந்தக் காலம் இரு பார்வையாளர்களுக்கிடையிலுள்ள தொலைவில் இருமடங்கு தொலைவு ஒளிச்சுடர் கடந்த தொலைவாகும். இதிலிருந்து கலீலியோ முதலில் ஒளியின் வேகத்தைக் கணக்கிட முயன்றார். ஆனால், அவரால் கால அளவைத் துல்லியமாக அளக்க முடியாத காரணத்தால் ஒளியின் வேகத்தைக் கணக்கிட முடியவில்லை.

7·3. ரோமரின் வானியல் முறை (Romer's Astronomical method): ரோமர் 1676-ல், வியாழன்கோளினுடைய நிலாவில் ஏற்படும் கிரகணங்களைக் கொண்டு ஒளியின் வேகத்தைக் கணக்கிட்டார். ரோமரின் முறையைப் படம் 7·1 ஐக் கொண்டு தெளிவாக விளக்கலாம்,




படம் 7·1

படம் (7·1-ல்) சூரியனைப் பூமி E ஒரு வட்டப்பாதையில் சுற்றி வருகிறது. மேலும் வியாழனும் மற்றொரு பெரிய வட்டப்பாதையில் சுற்றி வருகிறது. பூமி, சூரியனைச் சுற்றிவர எடுத்துக்கொள்ளும் காலம் ஓர் ஆண்டானால் வியாழன் எடுத்துக்கொள்ளும் கால அளவு 11·86 ஆண்டுகளாகும். ஆகையால், பூமி ஒருமுறை சூரியனைச் சுற்றி வருகின்ற காலத்தில் வியாழன் தன்னுடைய பாதையில் ஒரு பகுதி தான் கடந்திருக்கும். மேலும், வியாழனுக்குப் பல நிலாக்கள் (satellite) உள்ளன இவைகள் வியாழனைச் சுற்றி வந்து கொண்டிருக்கும். பூமியின் பாதையும் வியாழனின் பாதையும் ஒரு தளத்தில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். முதலில் பூமி $E_1$ என்ற நிலையிலும் வியாழன் $J_1$ என்ற நிலையிலும் ஒரே நேர்கோட்டிலிருக்கும்பொழுது பூமியும் வியாழனும் ஒன்றுக்கொன்று மிக அருகில் இருக்கும். இந்த நிலையில் வியாழனில் நிழலுக்குள் அதன் நிலாக்களில் ஒன்று சென்றால் அந்த நிலாவின் கிரகணம் ஏற்படும். இந்தக் கிரகணம் ஏற்படும் பொழுது நிலாவிலிருந்து கிளம்பிய ஒளி, பூமியை அடைய $J_1 E_1$ தொலைவு கடக்கவேண்டும். ஒளியின் வேகம் C எனக் கொள்வோம். இந்தக் கிரகணம் உண்மையில் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரம் To-ல் நிகழ்வதாகக் கொண்டால் இது பூமியை அடைய எடுத்துக்

கொள்ளும் நேரம் $\frac{J_1E_1}{C}$. ஆகவே, பூமியில் கிரகணம் நிகழ்வதாகத் தோன்றும் நேரம் $T_1 = T_0 + \frac{J_1E_1}{C}$ ஆகும் (7·1). இது நிகழ்ந்த 0·545 வருடத்திற்கும் பின் பூமியும் வியாழனும் ஒன்றுக்கொன்று அதிக தொலைவில் முறையே $E_2$ விலும் $J_2$ விலும் இருக்கும். இந்தக் கால அளவில் வியாழனில் அதே நிலாவிற்கு $n$ கிரகணங்கள் ஏற்பட்டிருக்கும். இந்த '$n$' எண்ணுடைய கிரகணம் தெரியும்பொழுது பூமியில் நேரம் $T_2$ எனவும், ஒவ்வொரு கிரகணம் ஏற்படவும் நிலா எடுத்துக் கொள்ளும் காலம் $t$ எனவும் கொண்டால்,

$$T_2 = T_0 + (n-1)\,t + \frac{J_2E_2}{C} \quad \dots \quad \dots \quad 7\cdot$$

என்று ஆகும். இதில் $T_0$ வியாழனில் முதலில் கிரகணம் தோன்றிய நேரம் $(n-1)\,t$ $n$ கிரகணங்கள் தோன்றுவதற்கு எடுத்துக்கொண்ட காலம். $\frac{J_2E_2}{C}$, $n$ எண்ணுடைய கிரகணம் தோன்றும்பொழுது அந்த நிலவிலிருந்து ஒளி பூமியை அடைய எடுத்துக்கொண்ட காலம்.

பின்னர்ப் பூமியும் வியாழனும் மீண்டும் $E_3$ $J_3$ என்ற நிலையில் இருக்கும்பொழுது ஒன்றுக்கொன்று மிக அருகில் இருக்கும். இந்த இடைவெளியில் $n$ கிரணங்கள் தோன்றும். பூமி, $E_3$ல் இருக்கும்பொழுது '$n$' எண்ணுடைய கிரகணம் ஏற்படுவதாகத் தோன்றும் நேரம் $T_3$ ஆனால்,

$$T_3 = T_0 + (n-1)\,t + (n-1)t + \frac{J_3\,E_3}{C} \quad \dots \quad 7\cdot3$$

எனவே, சமன்பாடுகள் (7·1), (7·2)களிலிருந்து,

$$T_2 - T_1 = (n-1)\,t + \frac{J_2\,E_2}{C} - \frac{J_1\,E_1}{C} \quad \dots \quad 7\cdot4$$

அல்லது, இந்தக் கால இடைவெளி பூமி வியாழனுக்கு மிக அருகில் இருந்தபொழுதிலிருந்து பூமி வியாழனிலிருந்து மிக அதிகமான தொலைவில் இருக்கும் காலம்வரை ஏற்பட்ட '$n$' கிரகணங்களின் கால அளவாகும். இதேபோல் பூமி மிக அதிக தொலைவிலிருந்த நிலைக்கும் மிகக் குறைந்த தொலைவிலிருக்கும் நிலைக்கும், இடையில் நிகழ்ந்த $n$ கிரகணங்களின் காலம் $T_3 - T_2$ ஆகும்.

சமன்பாடுகள் (7·3), (7·1) களிலிருந்து

$$T_3 - T_2 = (n-1)\;t + \frac{J_3\,E_3}{C} - \frac{J_2\,E_2}{C}$$

$$= (n-1)\,t - \left(\frac{J_2\,E_2}{C} - \frac{J_1\,E_1}{C}\right) \quad \dots \quad \dots \quad 7{\cdot}5$$

முதலில் $n$ கிரகணம் ஏற்படும் கால இடைவெளியை T′ என்றும் இரண்டாவது $n$ கிரகணம் ஏற்படும் கால இடைவெளியை T″ என்றும் கொண்டால்,

$$T' = (n-1)t + \frac{J_2\,E_2 - J_1\,E_1}{C} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 7{\cdot}6$$

$$T'' = (n-1)\,t - \frac{J_2\,E_2 - J_1\,E_1}{C} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 7{\cdot}7$$

மேலும் $J_1E_1 = J_2E_2 =$ பூமிக்கும் வியாழனுக்குமுள்ள குறைந்த தொலைவுச் சமன்பாடு 7·6 லிருந்து சமன்பாடு 7·7ஐக் கழித்தால்,

$$T' - T'' = \frac{J_2E_2}{C} - \frac{J_1\,E_1}{C} + \frac{J_2\,E_2}{C} - \frac{J_1\,E_1}{C}$$

$$= 2\,\frac{J_2\,E_2}{C} - 2\,\frac{J_1\,E_1}{C}$$

ஆனால், $J_2\,E_2 - J_1\,E_1 = D =$ பூமியின் பாதையின் விட்டம்

$$T' - T'' = \frac{2D}{C}$$

$$C = \frac{2D}{T' - T''}$$

ரோமர், பூமி, வியாழனின் மிக அருகிலிருந்து மிகத் தொலைவுக்குச் செல்லுகையில் ஏற்படும் $n$ கிரகணங்கள் காலத்திற்கும் மிகத் தொலைவிலிருந்து மிக அருகில் வரும்பொழுது ஏற்படும் $n$ கிரகணங்களின் காலத்திற்கும் உள்ள வேறுபாடு (T′ − T″) 32 நிமிடங்கள் 52 விநாடிகள் என்று கண்டார். பூமியின் பாதையின் விட்டத்தை $185{\cdot}6 \times 10^6$ மைல்கள் என்று கொண்டு ஒளியின் வேகத்தை,

$$\frac{2 \times 185{\cdot}6 \times 10^6}{1972} = 186000 \text{ மைல்கள்/விநாடி}$$

(ஏறத்தாழ)

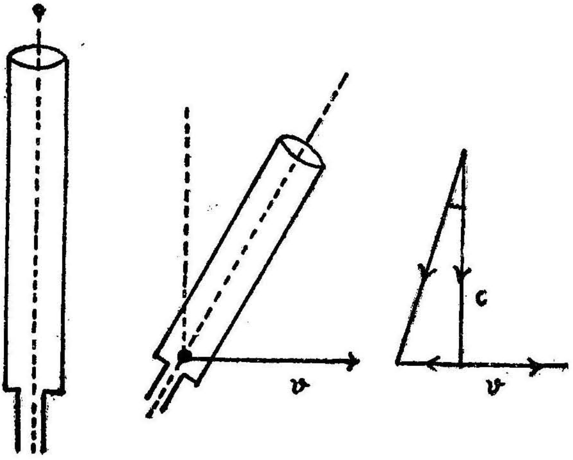
என்று கணக்கிட்டார்.

7·4. பிராட்லியின் பிறழ்ச்சி முறை (Bradley's aberration method): இந்த முறை ஒப்புத் திசை வேக அடிப்படையில் அமைந்துள்ளது. இந்த முறையைப் புரிந்துகொள்வதற்கு, எடுத்துக் காட்டாக, நேராக விழும் மழைத்துளி ஒன்றை எடுத்துக்கொள்வோம். இந்தத் துளி ஒரு நீண்ட குழாயின் வழியாகக் கடந்து செல்ல வேண்டுமானல் குழாயின் அச்சு செங்குத்தாக இருக்கவேண்டும். நடந்துகொண்டிருக்கும் ஒருவரின் கையில் இந்தக் குழாயிருந்தால்

குழாயின் மேற்புறத்தில் விழும் மழைத்துளிகள், குழாயின். பக்கத்தில் ஒட்டிக்கொள்ளும். குழாயின் வழியாக, குழாய் நகர்ந்து கொண்டிருக்கும்பொழுதும், மழைத்துளிகள் மறுபுறத்தின் வழி வெளிவரவேண்டுமானால், குழாயைப் படம்7·2$a$ல் காட்டியவாறு முன் புறம் சாய்வாகப் பிடிக்கவேண்டும். சாய்வுக் கோணம், மழைத் துளி வெளிவருகின்ற நேரத்தில், B முனை மழைத்துளி உள்புகும் பொழுது A இருந்த நிலைக்கு நேர்கீழாக இருக்குமாறு அமைந்திருக்க வேண்டும். மழைத்துளி கீழ்நோக்கி வருகின்ற வேகம் $c$ என்றும், குழாய் முன்னேக்கி நகருகின்ற வேகம் $v$ என்றும் கொண்டால்,

$$\tan\theta = \frac{vt}{ct} = \frac{v}{c}$$

இதுபோலவே, ஒரு விண்மீனிலிருந்து வருகின்ற ஒளியை நோக்கி ஒரு தொலைநோக்கியைப் பயன்படுத்தினுல் பூமியும் தொலைநோக்கி யும் நகராமலிருந்தால், தொலைநோக்கி விண்மீனின் உண்மையான திசையில் வைக்கப்பட்டிருக்கும்.



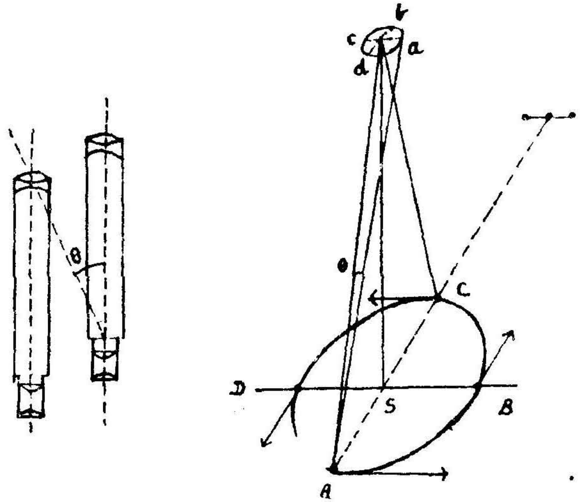

படம் 7·2 (a)

பூமி ஒரு வினடிக்கு 18·5 வேகத்தில் நகர்ந்துகொண்டிருப்பதால், தொலைநோக்கி நகருகின்ற திசையில் நேர்குத்துக்கு $\theta^\circ$ கோணம் சாய்வாக வைக்கப்பட்டிருக்கும். பூமியின் வேகம் C என்று கொண்டால்,

$$\tan\theta = \frac{v}{c} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 7{\cdot}10$$

இந்தக் கோணம் $\theta$, விண்மீனின் நிலையில் பூமியின் இயக்கத்தால் ஏற்படுவதாகத் தோன்றும் மாற்றங்களின் அளவாகும். இது

பிறழ்ச்சிக்கோணம் எனப்படும். பூமியின் இயக்கம் விண்மீனின் திசைக்கு நேர்குத்தாக இருக்கும்பொழுது, இந்தப் பிறழ்ச்சி பெரும மாக இருக்கும்.



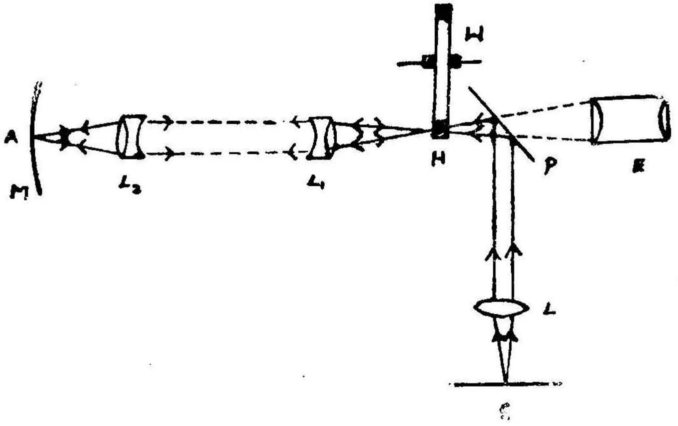

படம் 7·2 (b)

படம் 7·2 (*b*)ல் ABCD பூமியின் சுற்றுப் பாதையைக் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். சூரியனுக்கு (S) நேர்மேலே பூமியின் சுற்றுப் பாதைத் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக உள்ள ஒரு விண்மீன் (*s*) இருப்ப தாகக் கொள்வோம். பூமி A-ல் இருக்கும்பொழுது விண்மீன் *a* ல் தோன்றும். A *a* செங்குத்துக் கோட்டுக்கு $\theta$ கோணம் சாய்வாக இருக்கும். கால் ஆண்டிற்குப்பின், விண்மீன் பூமி B-ல் இருக்கும் பொழுது *b*-யிலும், பூமி C-ல்இருக்கும்பொழுது *c* யிலும், D-ல்இருக்கும் பொழுது *d*-யிலும் தோன்றும். ஓர் ஆண்டின் விண்மீன் பூமியில் 20° கோணம் ஏற்படுத்தும் ஒரு வட்டப்பாதையில் இயங்குவதாகத் தோன்றும்.

பிராட்லி இத்தகைய பிறழ்ச்சிக் கோணத்தின் பெரும அளவு $2\theta = 40{\cdot}89''$ என்று கண்டார். ஆனால், அதற்குப்பின் கண்ட $\theta$ வின் அளவு $20{\cdot}24''$ ஆகும். இதனையும் பூமி இயக்க வேகத்தையும் இணைத்து ஒளியின் வேகம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இவ்வாறு கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஒளியின் வேகம் 186233 மைல்/ வினாடி.

இந்த முறையில், பிறழ்ச்சிக் கோணத்தின் அளவு மிகவும் குறைவாக இருப்பதால், இதனைத் துல்லியமாக அளப்பது இயலாது; பூமியின் இயக்கத்தின் வேகத்திலும் சிறிது மாற்றங்கள் ஏற்படுவதால் ஒளியின் வேகத்தைத் துல்லியமாகக் காணமுடியாது.

7·5 ஃபீசோ முறை (Fizeau's method): 1849ஆம் ஆண்டில் ஃபீசோ முதன்முதலில் புவியியல் முறையினைக் கொண்டு ஒளியின் வேகத்தைக் கண்டார். அவருடைய சோதனையின் அமைப்பு முறை படம் 7·3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 7·3

S என்ற ஒரு பொலிவுள்ள ஒளி மூலத்திலிருந்து ஒளி, L என்ற வில்லையின்வழியாக P தட்டில் எதிரொளிக்கப்பட்டு, H என்ற புள்ளியில் குவிகிறது. $L_1$ என்ற வில்லையின் குவியம் H-ல் அமையுமாறு $L_1$ அமைக்கப்பட்டுள்ளது. மேலும் H என்ற புள்ளி, சிடை அச்சைக் கொண்டு சுழலக்கூடிய W என்ற ஒரு பற்சக்கரத்தின் இரு பற்களுக்கிடையில் உள்ள இடைவெளியில் அமையுமாறு, ஒரு பற்சக்கரம் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. H புள்ளியில் குவிகின்ற ஒளி. $L_1$ வில்லையால் இணைக்கதிர்களாக மாற்றப்பட்டு, ஒரு சில மைல்கள் சென்ற பின், மீண்டும் $L_2$ என்ற வில்லையினால் A என்ற புள்ளியில் குவிக்கப்படுகிறது. இந்தப் புள்ளியில் A-ஐ மையமாகவும் $L_2$ வில்லையின் குவியத்திற்கு இணையான குவியத்தையுடைய, M என்ற ஒரு குழி ஆடி அமைக்கப்பட்டுள்ளது. ஆகையால், A-ல் குவிக்கப்படும் ஒளிக்கற்றைகள் எதிரொளிக்கப்பட்டு, அதன் முதல்வழியில் திருப்பப்படுகின்றன. எனவே, ஒளிமூலத்தின் பிம்பத்தை E என்ற கண்ணருகுக் கருவியின்மூலம் காணமுடியும். W என்ற பல் சக்கரத்தின் விளிம்பில் உள்ள பற்களின் அகலமும், பற்களுக்கிடையிலுள்ள இடைவெளிகளின் அகலங்களும் சமமாக இருக்க வேண்டும். M என்ற குழி ஆடியால் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளி பல் சக்கரத்திலுள்ள பற்களின் இடைவெளிவழியாகக் கடக்க நேரும் பொழுது E-ல் S-ன் பிம்பம் தெரியும். எதிரொளிப்பு ஒளிப்பாதையில்

பற்சக்கரத்தின் பல் ஒன்று இருந்தால், S-ன் பிம்பத்தை E-ல் காண முடியாது. இரு பற்களுக்கிடையில் H-ஐக் கடந்து சென்ற ஒளி H-க்குத் திரும்பிவரும்பொழுது, அந்த இடத்தில் சக்கரத்தின் ஒரு பல் அமையுமாறு சக்கரத்தைக் குறைந்த வேகத்துாரம் சுழலச்செய்தால் S-ன் பிம்பம் E-ல் தெரியாது. சக்கரத்தின் சுழற்சி வேகத்தை இரு மடங்காக்கினுல் E-ல், S-ன் பிம்பம் தெரியும். மீண்டும் மூன்று மடங்காக்கினுல் பிம்பம் மறைந்துவிடும். சுழற்சி வேகத்தைத் தொடர்ந்து மாற்றிக்கொண்டிருந்தால் S-ன் பிம்பம் மாறிமாறித் தோன்றும்.

H-க்கும் A-க்கும் இடையில் உள்ள தொலைவு $d$ என்றும், ஒளி மூலம் மறைவதற்கான சக்கரத்தின் குறைவான சுழல்வேகம் வினடிக்கு $n$ சுழற்சிகள் என்றும், ஒளியின் வேகம் $c$ என்றும் கொண்டால், ஒளி H-லிருந்து A-க்குச் சென்று H-க்குத் திரும்பி வருவதற்கான கால அளவு,

$$t = \frac{2d}{c} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 7{\cdot}7$$

சக்கரத்தில் $n$ பற்களும் $m$ இடைவெளிகளும் இருந்தால், '$t$' கால அளவில் சக்கரம் இடைவெளி மையத்திலிருந்து பல் மையத்திற்குச் சுழன்றுள்ளது. ஆகையால்,

$$t = \frac{1}{2mn} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 7{\cdot}8$$

சமன்பாடு 7·7-ஐயும், 7·8-ஐயும் இணைத்தால்

$$\frac{2d}{c} = \frac{1}{2\,mn}$$

$$c = 4\,mnd \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 7{\cdot}9$$

இதற்கு அடுத்த மறைவுக்கான சுழற்சி வேகம் $n_2$ எனக் கொண்டால் $n_2 = 3n$ ஆகும். ஆகையால், ஒளியின் திசைவேகம்,

$$c = \frac{4\,mn_2d}{3}$$

∴ பீசோ தமது சோதனையில்

$m = 720$ ஆகவும்

$d = 8633$ மீட்டர்களாகவும் கொண்டு முதல் மறைவைச் சுழற்சிவேகம் வினடிக்கு 12·6 சுழற்சிகளில் கண்டார். ஆகவே, சமன்பாடு 7·9-ன்படி

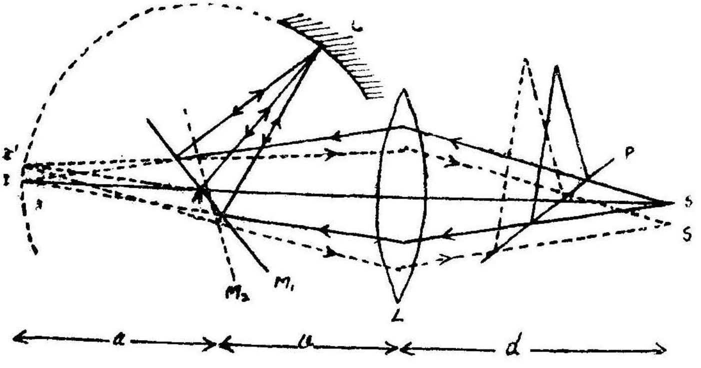
$$\text{ஒளிவேகம் } c = 4 \times 720 \times 12{\cdot}6 \times 8633$$

$$3{\cdot}13 \times 10^8 \text{ மீட்டர்/வினடி.}$$

ஃபீசோவின் சோதனையில் கீழ்க்கண்ட குறைபாடுகள் உள்ளன:

1. சக்கரத்தின் பற்களில் ஒளிச்சிதறல் ஏற்படுவதால் ஒளியின் முழுமறைவையோ அல்லது முழு ஒளியையோ காணமுடியாது.
2. இந்த முறையில் ஒளி பல எதிரொளிப்புகளுக்கும், ஒளி விலகல்களுக்கும் உட்படுவதால், அதன் செறிவு குறைந்து பிம்பம் மங்கித் தெரியும்.
3. சக்கரத்தின் ஒரே அளவான சுழல்வேகத்தை அடைய முடியாது.
4. பிம்பத்தின் மறைவும் தோற்றமும் முழுதாக நிகழாமல், சிறுகச்சிறுக நிகழும்.

7·6. ஃபோகால்ட் முறை (Foucault's method): ஃபீசோவின் முறையில் சிறிது மாறுதல் செய்து, ஃபோகால்ட் 1862-ல் ஒரு முறையைக் கண்டார். இதில் ஒளி கடக்கின்ற தொலைவு ஃபீசோ முறையிலுள்ளதைவிடக் குறைவாக இருக்கும். இந்த முறையில் பல்சக்கரத்திற்குப் பதிலாக ஒரு சுழல் ஆடி பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது. இந்த முறையைப் படம் 7·4 விளக்குகிறது.




படம் 7·4

S என்ற ஒளி மூலத்திலிருந்து கிளம்பிய ஒளி, P என்ற கண்ணாடித் தட்டைக்கடந்து S லிருந்து $d$ தொலைவிலுள்ள, நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கிய L என்ற வில்லையில் விழுகிறது. வில்லையின் வழி கடந்த ஒளி I என்ற புள்ளியில் குவிகிறது. இந்த ஒளிப்பாதையில் வில்லையிலிருந்து $b$ தொலைவில் A என்ற புள்ளியில் $M_1$ என்ற ஒரு சுழல் ஆடி இருந்தால், ஒளிக்கதிர்கள் I-ஐ அடைவதற்குமுன் $M_1$-ல் எதிரொளிக்கப்பட்டு A-யில் வளைவு மையத்தைக் கொண்ட C என்ற குழி ஆடியின் மையத்தில் விழுகிறது. இந்தக் குழி ஆடியில் எதி

ரொளிக்கப்பட்டு ஒளிக்கதிர்கள் முன்வந்த பாதையிலேயே திருப்பப்பட்டு S-ல் பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கும். ஆனால், S-க்குமுன் வில்லையின் அச்சுக்கு $45^\circ$ கோணம் சாய்வாக உள்ள P-என்ற கண்ணாடி இருப்பதால், ஒளிக்கதிர்கள் இதில் எதிரொளிக்கப்பட்டு $B_1$-ல் பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கும்.

இப்பொழுது சுழல் ஆடியை $M_1$-ஐத் தாள் தளத்தில் நேர்குத்தாக A-ல் உள்ள ஓர் அச்சில் வேகமாகச் சுழலச் செய்தால், $M_1$-ல், எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளி C-க்குச் சென்று மீள்வதற்குள், $M_1$ $\theta$ கோணம் திருப்பப்பட்டு $M_2$-ஐ அடைந்திருக்கும். ஆகையால் முன்பு $B_1$-ல் தோன்றிய பிம்பம் இடம் பெயர்ந்து $B_2$-ல் தோன்றும். பிம்பத்தின் இடப்பெயர்ச்சியான $B_1 B_2$-ஐ அளந்து ஒளியின் வேகத்தைக் கணிக்கலாம். சுழல்ஆடி $M_1$ நிலையில் இருக்கும்பொழுது, S-ன் பிம்பம் E-ல் விழுவதாகக் கொள்வோம். ஆனால் சுழல் ஆடியில் இந்தப் பிம்பம் I-ல் தோன்றும். ஆகையால் $AE = AI = a$, $a$ குழி ஆடியின் வளைவு ஆரமாகும். சுழல் ஆடி, ஒரே சீரான வேகத்தில் சுழலும்பொழுது, ஆடி $M_2$ நிலையிலிருந்தால் S-ன் பிம்பம் $I_1$-ல் தோன்றும். அல்லது ஒளி I-க்குப் பதில் $I_1$-லிருந்து வருவதுபோல் தோன்றும். சுழல்ஆடி $M_1$ நிலைக்கும் $M_2$ நிலைக்குமிடையில் $\theta^\circ$ கோணம் திரும்பப்பட்டிருந்தால் எதிரொளிப்புக் கதிர்கள் $2\theta^\circ$ கோணம் திருப்பப்படும். ஆகையால்,

$$II_1 = 2\,\theta\,.\,a$$

S-ம், $S_1$-ம் L வில்லைக்கான I, $I_1$-ன் பரிமாற்றுப் புள்ளிகள் ஆதலால்,

$$\frac{S\,S_1}{d} = \frac{II_1}{(a+b)}$$

$$S\,S_1 = \frac{a.2\,\theta\,.\,d}{(a+b)}$$

$S\,S_1 = x$ எனக்கொண்டால்,

$$x = \frac{2\,a\,d}{(a+b)}\theta$$

$$\text{அல்லது}\quad \theta = \frac{x\,(a+b)}{2\,a\,d} \qquad \dots \quad \dots \quad \dots \qquad 7{\cdot}10$$

சுழல்ஆடி ஒரு வினாடிக்கு $n$ தடவை சுழன்றால் சுழல்ஆடி $\theta^\circ$ கோணம் திருப்பப்படுவதற்கான கால அளவு

$$t = \frac{\theta}{2\,\pi\,n} \qquad \dots \quad \dots \quad \dots \qquad 7{\cdot}11$$

சமன்பாடு 7·10 லிருந்து $\theta$ வின் மதிப்பைச் சமன்பாடு 7·11-ல் பொருத்தினால்,

$$t = \frac{x\,(a+b)}{4\pi\, n\, a\, d} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 7{\cdot}12$$

இந்தக் கால அளவில் ஒளி A-யிலிருந்து E-க்குச் சென்று மீண்டும் A-க்குத் திரும்பியுள்ளது; அல்லது ஒளி $2a$, தொலைவு கடந்துள்ளது. ஆகையால் ஒளியின் வேகம்,

$$C = \frac{2\,a}{t}$$

$$= \frac{2\,a}{x\,(a+b)} \cdot 4\,\pi\, n\, a\, d$$

$$= \frac{8\pi n a^2 d}{x\,(a+b)} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 7{\cdot}13$$

சமன்பாடு 7·13, $a$, $n$, $d$, $b$ மற்றும் $x$ இவைகளை அளந்து ஒளியின் வேகத்தைக் கணக்கிடலாம்.

ஃபோகால்ட் இந்த முறையைப் பயன்படுத்தி ஒளியின் வேகம் $2{\cdot}98 \times 10^8$ மீட்டர்/விநாடி எனக் கண்டார்.

மேலும், அவர் சுழல் ஆடிக்கும் குழி ஆடிக்குமிடையில் ஒரு குழாயில் தண்ணீரை வைத்து ஒளியை அதன் வழி கடக்கச்செய்து, நீரில் ஒளியின் வேகம், காற்றில் ஒளியின் வேகத்தைவிடக் குறைவு என்று நிருபித்துக் காட்டினர். இந்தச் சோதனையின் முடிவு நியூட்டனின் துகள் கொள்கைக்கு எதிராகவும், ஹைஜயனின் அலைக்கொள்கைக்கு ஆதரவாகவும் அமைந்தது.

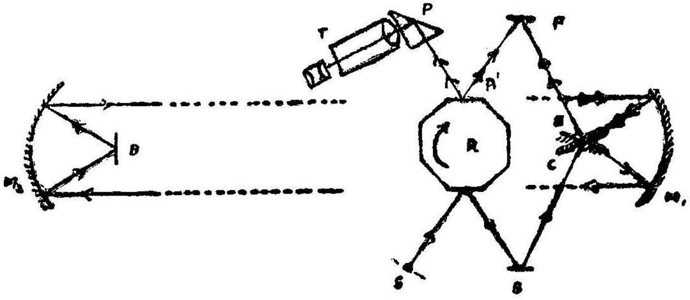
ஃபோகால்ட் முறையில், ஒளியில் ஏற்படுகின்ற பலதரப்பட்ட எதிரொளிப்புகளும், ஒளி விலகல்களும் பிம்பம் மிகவும் ஒளிமங்கித் தெரிகின்றன. மேலும் பிம்பத்திலேற்படும் இடப் பெயர்ச்சி மிகவும் குறைவாக உள்ளது.

இந்த முறையை மேலும் செம்மைப்படுத்த, மைக்கல்ஸன், சுழல் ஆடிக்கும் குழி ஆடிக்குமிடையில் தேவையான அளவிற்கு அகன்ற இடையிடம் கொண்ட, ஒரு நீள் குவிய வில்லையை வைப்பதன்மூலம் ஒளிப்பாதையைப் பெருமளவில் அதிகரிக்கச் செய்து, பிம்பத்தின் இடப்பெயர்ச்சியையும் அதிகமாக்கினர்.

7·7. மைக்கல்ஸன் முறை (Michelson's method): இந்த முறைக்கான அமைப்பைப் படம் 7·5 விளக்குகிறது.

ஒரு பொலிவுமிகுந்த ஒளிமூலத்திலிருந்து வரும் ஒளி S என்ற ஒரு சிறுபிளவின் வழியாக வெளிவரச்செய்து, எட்டுப் பக்கங்கள் கொண்ட R என்ற சுழல் ஆடியில் எதிரொளிக்கப்படுகிறது. எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளி, மீண்டும் B யிலும் C யிலும் எதிரொளிக்கப் பட்டு $M_1$ என்ற ஒரு பெரிய குழி ஆடியில் விழுகிறது. C யில் ஒளியின் படுகைப்புள்ளி குழிஆடியின் குவியமாக அமைந்திருப்பதால், குழி

ஆடியிலிருந்து ஒளி, இணைக்கற்றைகளாக $M_1$ என்ற மற்றொரு குழி ஆடிக்குச் செல்கின்றது. இந்த ஒளி $M_2$ வின் குவியத்திலுள்ள D என்ற ஆடியின் தளத்தில் குவிக்கப்பட்டு, D ஆல் எதிரொளிக்கப்




படம் 7·5

பட்டு, மீண்டும் $M_2$ வால் இணைக்கற்றைகளாக்கப்பட்டு, $M_1$ ஐ அடைகிறது. இணைக்கதிர்களாக $M_1$ ல் விழுகின்ற ஒளியை $M_1$ அதன் குவியத்திலுள்ள E என்ற சிறு ஆடியில் விழச்செய்கிறது. இந்த ஒளி மீண்டும் E-யிலும் F யிலும் எதிரொளிக்கப்பட்டு எண்முக ஆடியின் A' பக்கத்தில் விழுகிறது. இங்கிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளி, P என்ற ஒரு முப்பட்டகத்தில் முழு அக எதிரொளிப்பால் திசை திருப்பப்பட்டு, T என்ற மைக்ராமீட்டருடன் உடைய கண்ணருகுக் கருவியை அடைகிறது.

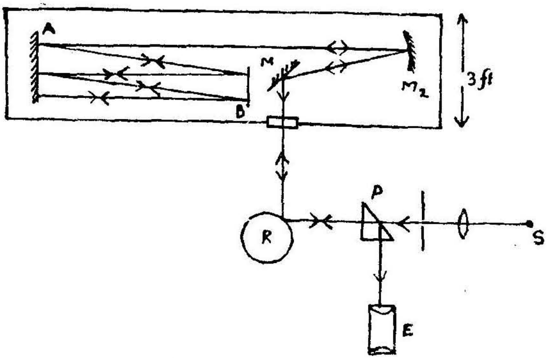
எண்முகஆடி அதன் மையம் வழியாகத் தாள்தளத்திற்கு நேர்குத்து அச்சில் சுழலுவதற்கு ஏற்ப அமைக்கப்பட்டுள்ளது. R நிலையாக இருந்தால், ஒளி A' பக்கத்தில் எதிரொளிக்கப்பட்டுக் கண்ணருகுக் கருவியின் பார்வைப் புலனில் தெரிகிறது. R சுழல் ஆரம்பித்தவுடன், இந்தப் பிம்பம் மறைந்துவிடும். ஆடியின் சுழல் வேகத்தைச் சிறிது சிறிதாக அதிகரித்துக்கொண்டுவந்தால் முதலில் ஒரு வேகத்தில் பிம்பம் ஆடி நிலையாக இருக்கும்பொழுது தெரிந்த நிலையில் மீண்டும் தெரியும். இந்தச் சுழல் வேகத்தில் R-ல் A பக்கத்தில் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளி, மீண்டும் R-ஐ A'-ல் அடைகின்ற பொழுது, எண்முகஆடி 45° கோணம் திருப்பப்பட்டு A' க்கு அதன் அடுத்த பக்கம் வருமாறு செய்யப்பட்டிருக்கும். A' யிலிருந்து A' க்குச் செல்ல ஒளிகடந்த மொத்தத் தொலைவு $d$ ஆனால் ஒளியின் வேகம் $C = \frac{d}{t}$.

எண்முகஆடி வினாடிக்கு '$n$' முறை சுழன்றால்,

$$t = \frac{1}{8n}$$

ஆகையால், $C = 8\,n\,d$

7·8 புழல் முறை (Tunnel experiment): 1930-31-ல் மைக்கல்ஸன், பீஸ் (Pease) மற்றும் பியர்ஸன் (Pearson) இவர்களின் உதவியுடன் வெற்றிடத்தில் ஒளி செல்லும் வேகத்தைக் கண்டறிந்தார். இதற்காக அவர் 1 மைல் நீளமும், 3 அங்குல விட்டமும் கொண்ட ஒரு குழாயைப் பயன்படுத்தினர். இந்தக் குழாயில் இருந்த காற்றை, ஒரு காற்று வெளியேற்றும் பம்பினுல் வெளியேற்றிக் குழாயினுள் காற்றை 5 மி. மீட்டர் பாதரச அழுத்தத்தின் அளவிற்குக் குறைத்தார். ஒளியின் வேகம் காண்பதற்கான ஒளியியல் அமைப்புகள் இந்தக் குழாயினுள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இதற்கான அமைப்பு முறையைப் படம் 7·6 விளக்குகிறது.



படம் 7·6

இந்த முறையில் S என்ற ஓர் ஒளிமூலத்திலிருந்து ஒளி 32 முகங்களைக் கொண்ட R என்ற ஒரு சுழலும் பட்டகத்தில் எதிரொளிக்கப்பட்டு $M_1$ $M_2$, AB என்ற எதிரொளிப்பு ஆடிகளால் பன்முக எதிரொளிப்புகளுக்குப்பின் மீண்டும் R-ல் எதிரொளிக்கப்பட்டு, P என்ற பட்டகத்தால் திசைதிருப்பப்பட்டுக் கண்ணருகுக் கருவி E-ல் பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கிறது. சுழலும் பட்டகம் (R) சுரங்கக் குழாய்க்கு வெளியில் வைக்கப்பட்டு ஒரு காற்று டர்பைனுல் (air turbine) சுழற்றப்படுகிறது.

R-ல் ஒரு முகத்தில் முதலில் எதிரொளிக்கப்பட்டு, குழாயினுள் பன்முக எதிரொளிப்புகளுக்கு உட்பட்டு மீண்டும் R-ஐ அடைவதற்குள் R-ன் அடுத்த முகம் ஒளியை எதிரொளிக்கின்ற அளவில் R-ன் சுழற்சி வேகம் அமையுமாறு, வினடிக்கு $n$ முறை சுழற்றப்பட்டால், ஒளி பயணம் செய்த மொத்தத் தொலைவு Dஆக அமைந்தால், ஒளியின் வேகம்,

$$C = \frac{D}{t}$$

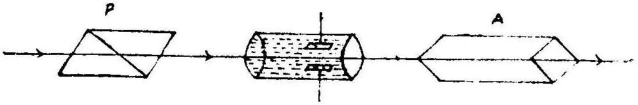
$$= \frac{D}{\frac{t}{32\,n}}$$

$$= 32\,n\,D$$

இந்த முறையில் ஒளி பல மைல் நீளம் வெற்றிடத்தில் பயணம் செய்வதால், மற்ற முறைகளில் காற்றின் விலகெண்ணினால் ஏற்படுகின்ற பிழை இந்த முறையில் தோன்றாது. மேலும், பிம்பத்தின் ஒளிப்பொலிவும் மிகுந்து காணப்படும்.

இந்தச் சோதனையை மைக்கல்ஸன் தொடங்கினாலும் இது முடிவடைவதற்குள் மைக்கல்ஸன் மறைந்துவிட்டார். அவர் மறைவிற்குப்பின் அவருடன் பணியாற்றிய பீஸ் மற்றும் பியர்ஸன் இருவரும் 1933-ல் இதனை வெற்றிகரமாக முடித்தார்கள். இந்த முறையில் காணப்பட்ட ஒளியின் சராசரி வேகம் $(2{\cdot}9974 \pm 0{\cdot}00011)\ 10^8$ மீட்டர்கள்/வினாடிக்கு

7·9. கெர் சிமிழ் முறை (Kerr cell method) : 1926-ல் லிப்ஸிக்கில் (Leipzig) கெர் சிமிழைப் பயன்படுத்த மின்-ஒளி முறையில் ஒளியின் வேகம் அளக்கப்பட்டது. இது ஃபிசோ முறையை ஒத்தது. பல் சக்கரத்தால் ஒளியைத் தடுப்பதற்குப் பதில், மின்-ஒளி முறையினால் பல்சக்கர முறையைவிடப் பலமடங்கு அதிகமான வேகத்தில் ஒளியைத் தடுத்துவிட முடியும். இதன் அமைப்புமுறையைப் படம்

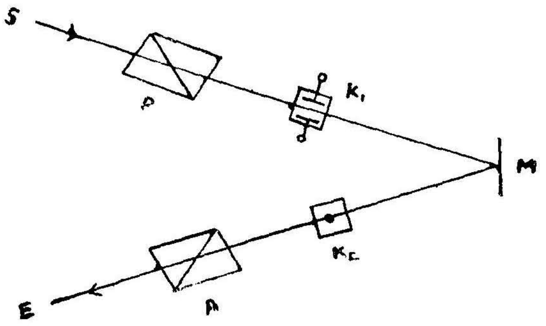



படம் 7·7

7·7 விளக்குகிறது. இதில் K என்ற ஒரு கெர் சிமிழ் $N_1$ $N_2$ என்ற இரு குறுக்குறு நைக்கல்களுக்கிடையில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. கெர் சிமிழில் நைட்ரோ பென்ஸின் (nitro benzene) நிரப்பப்பட்டு, இருமின் வாய்கள் (electrode) பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இந்த இரு மின் வாய்களுக்கிடையில் ஓர் உயர் மின் அழுத்தம் ஏற்படுத்தினால், ஒளி இந்தத் திரவத்தின் வழியாகக் கடக்க முடியும். மின் அழுத்தம் நிறுத்தப்பட்டால், ஒளிப்பாதையும் தடைப்படும். ஒரு மின் உயர் அழுத்த அலையியற்றியைக் (electrical oscillator) கொண்டு மின்வாய்களுக்கு இடையில் மின் அழுத்தம் ஏற்படுத்தினால் ஒரு வினாடிக்குப் பலகோடி முறை ஒளிப்பாதையில் தடை ஏற்படுத்த முடியும்.

இந்த முறையில் கேரலஸ் மற்றும் மிட்டல்ஸ்டெட் (Kerolus and Mittelstead) இருவரும் ஒளியின் வேகத்தைக் கணக்கிட்டுள்ளார்கள். இந்த முறைக்கான விளக்கம் படம் 7·8-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

S என்ற ஓர் ஒளிமூலத்தில் இருந்த ஒளி P என்ற நைக்கலின் வழி செலுத்தப்பட்டுத் தளவிளைவாக்கப்பட்டு $K_1$ என்ற கெர் சிமிழின்




படம் 7·8

வழி அனுப்பப்படுகிறது. இந்த ஒளி M-ல் எதிரொளிக்கப்பட்டு $K_2$ என்ற மற்றொரு கெர் சிமிழின் வழி பகுப்பானுகச் செயல்படும்.

A நைக்கலின் வழிகண்ணருக்குக் கருவி E-ஐ அடையும். $K_1$, $K_2$ இவைகளுக்கு ஆன மின் புலன் (electric field) ஒன்றிற்கொன்று நேர்குத்தாக அமைக்கப்பட்டுள்ளன. மேலும், P, A என்ற இரு நைக்கல்களும் குறுக்குறு முறையில் வைக்கப்பட்டுள்ளன. நைக்கல் P-ஐ அதன் தளவிளைவுத் தளம் (plane of polarisation) K-ன் மின் புலத்திற்கு 45° சாய்வாக இருக்குமாறு செய்யப்படவேண்டும். ஒரு ரேடியோ அதிர்வெண் மின் அழுத்தத்தை இரு சிமிழ்களில் உள்ள மின்வாய்களிலும் ஏற்படுத்தவேண்டும். இந்த மின் அழுத்தத்தின் ($f$) அதிர்வெண் விநாடிக்கு $3{\cdot}6\times10^6$ சைக்கிள்களிலிருந்து $7\times10^6$ சைக்கிள்கள்வரை தொடர்ந்து மாற்றுவதற்கு ஏற்ப அமைக்கப்படவேண்டும். $K_1$ லிருந்து வெளிவரும் ஒளி நீள்வட்டத் தள ஒளியாக elliptically polarised light) ஆகவிருக்கும். $K_1$ லிருந்து கிளம்பிய ஒளி M வழியாக $K_2$ வை அடைய எடுத்துக்கொள்ளும் காலம் $\frac{1}{f}$ ஆனால், ஒளி $K_2$-ஐ அடையும்பொழுது $K_1$ ம் $K_2$ நிலையில் இருக்கும். ஆனால், இரு மின்புலன்களும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாக இருப்பதால், ஒளியில் $K_1$-ல் தோற்றுவிக்கப்பட்ட நீள்வட்டத் தள விளைவு அழிக்கப்பட்டு, ஒளி மீண்டும் முதலில் P-ல் தள விளைவுற்றிருந்த தளத்தில் சமதள தளவிளைவு (plane polarised) ஏற்படுகிறது. A, P-க்குக் குறுக்குறு நைக்கலாக இருப்பதால் A-யின் வழி ஒளி வருவது தடைப்படுகிறது. இதனை E-ல் கண்ணை வைத்து, ஒளி தடைப்படுவதைக் காணமுடியும். $K_1MK_2$-வின்,

ஒளிப்பாதை நீளம் $d$ என்றும் உயர்மின் அழுத்தத்தின் அதிர்வெண் $f$ என்றும் கொண்டால், ஒளி $K_1$-லிருந்து $K_2$ அடைய எடுத்துக் கொள்ளும் காலம் $t = \frac{1}{4f}$ ஆகும்.

ஆகையால்,

$$C = 4fd.$$

இந்த முறையில் ஒளியின் வேகம் $(2{\cdot}9978 \times 10^8 \pm 20 \times 10^3)$ மீட்டர்கள்/விநாடி ஆகக் கணக்கிடப்பட்டது.

இந்த முறையில் மின் புலனில் ஒரு விநாடிக்குப் பல கோடி முறைகள் மாற்றப்படுவதால் ஃபிசோ முறையைவிட அதிகமானமுறையில் ஒளியைத் தடைசெய்ய முடியும். ஆகையால், ஒளிப்பாதையைக் குறைவாகக் கொள்ளமுடியும். இந்த முறையை ஒரு சோதனைச் சாலையில் அமைக்கமுடியும். மின் அலைவியற்றியின் அதிர்வெண் துல்லியமாகத் தெரியும்.

பின்னர் ஆண்டர்ஸன் (Anderson) இந்த முறையில் சில மாற்றங்கள் செய்து, ஒளியின் வேகத்தை $2{\cdot}99776 \pm 14 \times 10^3$ மீட்டர்/விநாடி என்று கண்டார்.

7·10. கீழுள்ள அட்டவணையில், வெவ்வேறு முறைகளில் கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ள ஒளியின் வேகம் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

| முறை | ஒளியின் வேகம் |
|---|---|
| ரோமரின் வானியல் முறை | 186,000 மைல்கள்/விநாடி |
| பிராடிலியின் பிறழ்ச்சி முறை | 186,233 மைல்கள்/விநாடி |
| ஃபிஸோ முறை | $3{\cdot}13 \times 10^8$ மீட்டர்/விநாடி |
| ஃபோகால்ட் முறை | $2{\cdot}98 \times 10^8$ மீட்டர்/விநாடி |
| மைக்கல்ஸன் முறை | $2{\cdot}99797 \times 10^8$ மீட்டர்/விநாடி |
| புழல் முறை | $2{\cdot}99774 \times 10^8$ மீட்டர்/விநாடி |
| கெர்செல் முறை | $2{\cdot}9978 \times 10^8$ மீட்டர்/விநாடி |
| ஆண்டர்சன் முறை | $2{\cdot}99776 \times 10^8$ மீட்டர்/விநாடி |

வெற்றிடத்தில் ஒளியின் வேகம் ஒரு மாறிலியாக இருக்கும். அதனை C என்ற எழுத்தால் குறிப்பிடுவார்கள். பொதுவாக ஒத்துக் கொள்ளப்பட்ட C-யின் மதிப்பு $2{\cdot}99774 \times 10^8$ மீட்டர்கள்/விநாடி.

## பயிற்சி

1. ஒளியின் வேகத்தைக் காண்பதற்கான வானியியல் முறை ஒன்றைத் தெளிவாக விளக்கவும்.

2. ஃபோகால்ட் முறையின்மூலம் ஒளியின் வேகத்தைக் காணும் விதத்தை விளக்கிக் கூறு. இந்த முறை எவ்வாறு ஒளியின் அலைக்கொள்கைக்கு ஆக்கம் தந்தது?

3. ஒளியின் வேகத்தைக் காண்பதற்கான மைக்கல்ஸனின் சுழல்ஆடி முறையை விளக்கு. இந்த முறையின் சிறப்பியல்புகளையும், குறைபாடுகளையும் மற்ற முறைகளுடன் ஒப்பிட்டுக் கூறு.

4. கெர் சிமிழ் முறையில் ஒளியின் வேகம் எவ்வாறு கண்டு பிடிக்கப்படுகிறது?

5. கார்பன் டி ஸல்பைட் (carbon di sulphide) திரவத்தில் ஒளி ஒரு நோக்கை நோக்கிச் சென்று ·5 விநாடியில் திரும்பி விடுகிறது. கார்பன் டி ஸல்பைட்டின் ஒளிவிலகெண் 1·46 ஆனால், ஒளி சென்ற தொலைவைக் கணக்கிடு.

# 8. ஒளியியல்பு

## (Nature of Light)

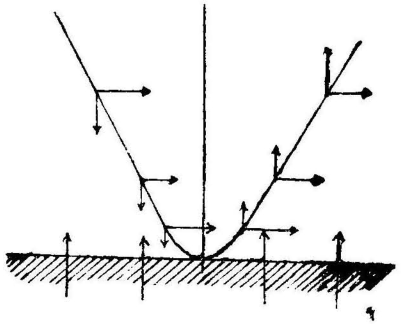
8·1. ஒளியின் மீநிலைப் பண்புகளை, வடிவியல் பிரிவில் கண்டோம். ஒளியின் நுண்நிலைப் பண்புகளை விளக்குவதற்கான எந்தக் கொள்கையும், மீநிலையில் ஏற்படுகின்ற விளைவுகளான நேர் கோட்டுச் செலவு, எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல் முதலிய உண்மைகளை விளக்கும் வகையில் அமையவேண்டும். மேலும் ஒளி, நம் கண்ணில் விழும்போது பார்வை உணர்வை ஏற்படுத்துவதுடன், அதனை உட்கவரும் பொருள்களின் வெப்ப நிலையையும் உயர்த்துகிறது. ஆகையால் ஒளிபரவுதல் என்பது ஆற்றல் பரவுதல் என்றாகும். இத்தகைய ஆற்றல் பரவல், விண்வெளியில் வெற்றிடத்தின் வழியாகவும் நிகழ்கிறது. இத்தகைய ஆற்றல் கடத்தல் எவ்வாறு ஏற்படுகிறது என்பதை விளக்க, முதலில் இரு வகைக் கொள்கைகள் தோன்றின. ஆனால், இந்த இரு கொள்கைகளும் ஒளியியலின் எல்லா விளைவுகளையும் விளக்க இயலாத காரணத்தால், இந்தக் கொள்கைகளில் பின்னர் மேலும் மாற்றங்கள் செய்யப்பட்டன.

8·2. நியூட்டனின் துகள் கொள்கை (Newton's corpuscular theory) தன் ஒளி படைத்த பொருள்கள் எப்பொழுதும் ஒருவகைத் துகள்களை எல்லாத் திசைகளிலும் வெளியிட்டுக்கொண்டிருக்கும் என்றும், இத் துகள்கள் கண்ணின்வழி புகுந்து பார்வை உணர்வை ஏற்படுத்துகின்றன என்றும் 17-ஆம் நூற்றாண்டின் மையப்பகுதியில் நம்பப்பட்டு வந்தது. இந்த நம்பிக்கையின் அடிப்படையில் நியூட்டன் தன் வெளியிட்டுக் கொள்கையை (Emission theory) அமைத்தார். அதன்படி, தன் ஒளி படைத்த பொருள்கள், எப்பொழுதும் மீள்சக்தியுள்ள இலேசான ஒருவகைத் துகள்களை வெளியிட்டுக் கொண்டிருக்கும். இந்தத் துகள்கள் ஒருபடித்தான ஊடகங்களில் எந்தவொரு வெளி ஆற்றலுக்கும் ஆட்படாமல் நேர்கோட்டுவழி செல்லும்.

இத்தகைய துகள்கள் ஓர் எதிரொளிப்புத்தளத்தை நெருங்கும் பொழுது, எதிரொளிப்புத் தளத்திலிருந்து ஒரு குறைந்த தொலை

வில், எதிரொளிப்புத் தளத்திற்கு நேர்குத்துத் திசையில் ஓர் எதிர்ப்பு விசைக்கு உட்படுகின்றன. ஆனால், ஒளிபுகு ஊடகங்களில் பிரிதளத்திற்கு வெகு அருகில் பிரிதளத்திற்கு நேர்குத்துத் திசையில் ஒருவித ஈர்ப்பு விசைக்கு உட்படுகின்றன. இந்த இரு தற்கோள்களைக் (assumptions) கொண்டு எவ்வாறு எதிரொளிப்பையும் ஒளிவிலகலையும் விளக்கமுடியுமென்று காண்போம்.

8·3. எதிரொளிப்பு : ஓர் ஒளித்துகள் MM என்ற ஒரு சமதள எதிரொளிப்புத் தளத்தை நோக்கி V வேகத்தில் செல்வதாகக்கொள்வோம். இந்தத் துகள் செல்லுகின்ற திசை, எதிரொளிப்புத்தளத்தின் நேர்குத்துத் திசைக்கு $i$ கோணம் சாய்வாக அமைந்துள்ளதாகவும் கொள்வோம். எதிரொளிப்புத் தளத்தின் எதிர்ப்பு விசை, தளத்திலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவு வரை இருக்கும். துகளின் திசைவேகம் V-ஐ எதிரொளிப்புத் தளத்திற்கு இணையாகவும் எதிரொளிப்புத் தளத்திற்கு நேர்குத்துத் திசையிலும் இரு பகுதிகளாகப் பகுக்கலாம். தளத்திற்கு இணைப்புப் பகுதி $V \sin i$ என்றும் நேர்குத்துப் பகுதி $V \cos i$ என்றுமாகும். (படம் 8·1).



படம் 8·1

தளத்திற்கு இணையான திசையில் எந்த விசையும் செயல்படாததால், துகள்வேகத்தின் $V \sin i$ பகுதி எந்தவித மாற்றமும் இல்லாமலிருக்கும். ஆனால், துகளின் $V \cos i$ பகுதி எதிரொளிப்புத் தளத்தின் எதிர்ப்பு விசைக்கு ஆட்படுவதால் அதன் மதிப்பு, கொஞ்சம் கொஞ்சமாகக் குறைந்து சுழிநிலையை அடையும். பின்னர் எதிர்த் திசையில் அதிகரித்து எதிரொளிப்புத் தளத்திலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவில் மீண்டும் $V \cos i$ ஆகிறது. இந்த நிலையில் துகள் எதிரொளிப்பு விசைப்புலனிலிருந்து விலகிவிடுவதால் இதற்குப்பின் துகளின் திசைவேகப் பகுதியான $V \cos i$-ல் எந்த மாற்றமும் ஏற்படாது. இரு பகுதிகளும் இணைந்து, துகள் அது முதலில் கொண்டிருந்த திசைவேகத்துடன் நகர்கிறது. இப்பொழுது துகள் செல்கின்ற திசை எதிரொளிப்புத் தளத்தின் நேர்குத்துத்

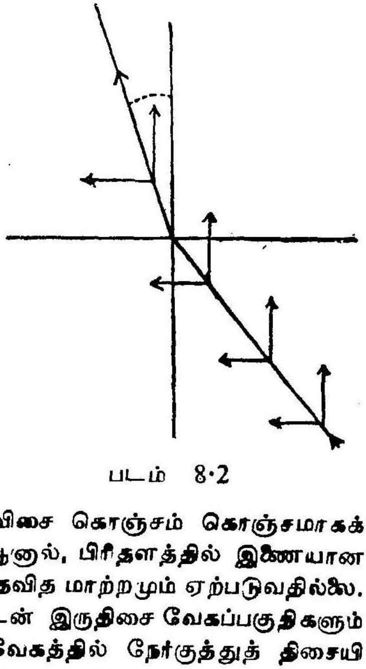
திசையிலிருந்து $i'$ சாய்ந்திருப்பதாகக் கொண்டால் திசை வேகத்தில் இரு பகுதிகள் முன்பு கண்ட இரு திசைகளிலும் $V \cos i'$, $V \sin i'$ ஆகும். ஆனால், எதிரொளிப்புத் தளத்திற்கு இணையான திசை வேகப் பகுதியில் எந்த மாற்றமும் ஏற்படவில்லை. ஆகையால்,

$$V \sin i = V \sin i'$$

அல்லது $i = i'$

இத்தகைய துகள் தொடர்ச்சிதான் ஒளிக்கதிர்களாவதால் $i$ படுகோணம் என்றும், $i'$ எதிரொளிப்புக் கோணமென்றுமாகும். அல்லது படுகோணம் எதிரொளிப்புக் கோணத்திற்குச் சமமென்ருகும்.

8·4. ஒளிவிலகல் : ஓர் ஊடகத்தில் V வேகத்தில் செல்லும் துகள், மற்ருேர் ஒளிபுகு ஊடகத்தைப் பிரிதளத்தின் நேர்குத்துக்கு $i°$ சாய்வாக நெருங்குவதாகக் கொள்வோம். ஒளித்துகள் இரண்டாம் ஊடகப் பரப்பை நெருங்கியவுடன், பிரிதளத்திலிருந்து ஒரு குறைந்த தூரத்தில் இரண்டாம் ஊடகத்தின் ஈர்ப்பு விசைக்கு உட்படுகிறது. இந்த விசை பிரிதளத்திற்கு நேர்குத்துத் திசையில் இயங்குவதால், துகளின் திசை வேகம் V-ன் நேர்குத்துப் பகுதி $V \cos i$ அதிகரிக்கிறது. பிரிதளத்திலிருந்து ஊடகத்தினுள் ஒரு சிறிது தொலைவில் இந்த ஈர்ப்புவிசை கொஞ்சம் கொஞ்சமாகக் குறைந்து மறைந்துவிடுகிறது. ஆனால், பிரிதளத்தில் இணையான திசைவேகப் பகுதி $V \sin i$-ல் எந்தவித மாற்றமும் ஏற்படுவதில்லை. ஈர்ப்பு விசைப்புலனைத் தாண்டியவுடன் இருதிசை வேகப்பகுதிகளும் ஒருங்கிணைந்து $V_1$ என்ற திசை வேகத்தில் நேர்குத்துத் திசையிலிருந்து $r°$ கோணம் சாய்வாகச் செல்லும். இதன் இரு பகுதிகளும் $V_1 \cos r$, $V_1 \sin r$ ஆகும். பிரிதளத்திற்கு இணையான திசைவேகப் பகுதி இரு ஊடகங்களிலும் ஒன்ருக இருப்பதால்,



படம் 8·2

$$V \sin i = V_1 \sin r$$

இரண்டாவது ஊடகம் அடர்மிகு ஊடகமாக இருந்தால், இந்தத் துகள்கள் நேர்குத்துக்கோட்டை நோக்கி வளைவதை சோதனைகள் காட்டுகின்றன. அல்லது $r$, $i$-ஐ விடக் குறைவாக

அமைகிறது. அல்லது $\sin r < \sin i$ ஆகையால் $V_1$, V-ஐ விட அதிகமாக இருக்கவேண்டுமென்ருகிறது. ஆகையால் துகள் கொள்கையின்படி ஒளியின் திசைவேகம் அடர்மிகு ஊடகத்தில் அடர்குறை ஊடகத்தைவிடக் கூடுதலாக இருக்கவேண்டுமென்று ஆகிறது.

$$V \sin i = V_1 \sin r$$

அல்லது $$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V} = \text{ஒரு மாறிலி.}$$

சில பரப்புகளில் ஒளித்துகள் எதிர்ப்புவிசைக்கும், ஈர்ப்பு விசைக்கும் மாறி மாறி உட்படுவதால் அத்தகைய பரப்புகளில் எதிரொளிப்பும், ஒளிவிலகலும் ஒன்ருக நிகழ்வதற்கான நிபந்தனைகளை விளக்கமாக நியூட்டன் வெளியிட்டார்.

வெவ்வேறு நிறங்களின் துகள்கள் வெவ்வேறு எடை உடையனவாக இருக்கக்கூடுமாதலால், அவைகளின் திசைவேகங்களில் மாறுதல் ஏற்பட்டு ஊடகங்களில், வெள்ளொளிக் கதிர், நிறப்பிரிகை அடையும் காரணத்தையும் விளக்கினுர்.

8·5. ஹைஜயன் அலைக்கொள்கை: 1684-ல் ஹைஜயன் என்ற டச்சு நாட்டு விஞ்ஞானி ஒளியியலின் அலைக்கொள்கையை வெளியிட்டார். இதன்படி ஒலி அலைகளாகப் பரவுவதைப்போல ஒளி ஆற்றலும், ஒருவகை அலைகளாகப் பரவவேண்டும். அவ்வாறு அலைகளாகப்பரவுவதாகக்கொண்டால், அலைகள் வெற்றிடத்தில் பரவமுடியாது. ஆகையால், ஒளி ஒருவகை ஈதர் என்ற கற்பனை ஊடகத்தில் பரவுவதாகக் கொள்ளவேண்டும். இந்த ஈதர் மிக அதிகமான விறைப்புத்தன்மையும் (rigidity) மிகக் குறைந்த அடர்த்தியையும் உடையதாக இருக்கும். இந்தக் கொள்கையைக்கொண்டு ஹைஜயன் எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல் முதலிய ஒளியியல்புகளை விளக்கினுர். ஆனுல், ஒளியின் நேர்கோட்டுச் செலவை விளக்க அவரால் இயலவில்லை. மேலும், இதன்படி ஒளியின் வேகம் அடர்மிகு ஊடகத்தில், அடர்குறை ஊடகத்தை விடக்குறைவாக இருக்கவேண்டும். பின்னர் 1862-ல், ஃபோகால்ட் என்பவர் நீரில் ஒளியின் வேகத்தை அளந்து, அது வெற்றிடத்தில் ஒளிசெல்லும் வேகத்தைவிடக் குறைவு என்று நிரூபித்தார். ஃபோகால்டின் இந்தச் சோதனை அலையியக்கக் கொள்கைக்கு ஆதரவாக அமைந்தது. ஏனெனில், நியூட்டனின் துகள் கொள்கையின்படி ஒளியின் வேகம் அடர்மிகு ஊடகத்தில் அதிகமாக இருக்கவேண்டும்.

இந்த இரு கொள்கைகளும் வெளியிடப்பட்ட சமயத்தில், ஒளியின் விளைவுகளான நியூட்டன் வளையங்கள், (Newton's rings) விளிம்பு விளைவு (diffractin) இரட்டை விலக்கம் (double refraction) போன்ற புதிய வியத்தகு விளைவுகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இந்த விளைவுகளைத் துகள் கொள்கையால் விளக்க இயலவில்லை. ஆனுல்

ஹைஜயனுல் தோற்றுவிக்கப்பட்டு, பின்னர் ஃப்ரெனெல்லால் வளர்க்கப்பட்ட அலைக்கொள்கை வியக்கத்தக்க முறையில் இந்த பௌதிக உண்மைகளை விளக்கியது. இருப்பினும் விஞ்ஞான உலகில் நியூட்டனுக்கு அவர் காலத்திலிருந்த நிலையின் காரணமாக அலையியக்கக் கொள்கை 19ஆம் நூற்ருண்டின் இறுதிவரை ஏற்றுக் கொள்ளப் படாமலிருந்தது.

8·6. மின்காந்தக் கொள்கை (Electro magnetic theory): 1873-ல் கிளார்க் மேக்ச்வெல் (Clark Maxwell) என்ற விஞ்ஞானி, ஒரு மாறு மின்னேட்டகச் சுற்று, மின்காந்த அலைகளை வீசவேண்டும் என்று கூறினர். மேலும் மின் காந்த இயல்புகளின் அளவுகளைக் கொண்டு அத்தகைய அலைகளின் திசை வேகம் $3\times10^8$ மீட்டர்களாக இருக்க வேண்டுமென்றும் கணக்கிட்டார். இவ்வாறு கணக்கிடப்பட்ட திசைவேகமும் பரிசோதனையின் மூலம் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட ஒளியின் வேகமும் ஒன்ருக இருந்தன. இந்த ஒப்புதலின் காரணமாக மேக்ச்வெல் ஒளி அலைகளும் மின் காந்த அலைகளைக் கொண்டிருக்கலாம் என்று கூறினர். பதினைந்து ஆண்டுகளுக்குப் பின் ஹெர்டஸ் (Hertz) மின்காந்த அலைகளைத் தோற்றுவிப்பதில் வெற்றி கண்டார். இந்த மின்காந்த அலைகள் ஒளியின் எல்லாப் பண்புகளையும் கொண்டிருந்தன. ஆகையால் 19ஆம் நூற்ருண்டின் இறுதியில் பொதுவாக ஒளியின் இயல்பு ஐயத்திற்கு இடமில்லாமல் நிலைநாட்டப்பெற்று விட்டதாக நம்பப்பட்டது.

8·7. குவான்டம் கொள்கை (Quantum theory): 20ஆம் நூற்ருண்டில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஒளி மின் விளைவு (Photo electric) effect) மீண்டும் விஞ்ஞானிகளுக்குச் சோதனையாக அமைந்தது. இந்த விளைவை அலைக் கொள்கையின்மூலம் விளக்க இயலவில்லை. 1905-ல் ஐன்ஸ்டின், (Einstein), மாக்ஸ் ப்ளாங்க் (Max Plank) கொள்கையை ஏற்றுக்கொண்டு ஒளி மின் விளைவை விளக்கினர். ப்ளாங்கின் கொள்கைப்படி ஒளிக் கற்றைகள் ஃபோட்டான் (photon) என்ற சிறுசிறு ஆற்றல் பெட்டகங்களைக் கொண்டுள்ளன. இந்தப் ஃபோட்டான்களின் ஆற்றல் அந்த ஒளியின் அதிர்வெண்ணிற்கேற்பவிருக்கும். மில்லிகன் (Millikan) என்ற விஞ்ஞானி சோதனையின்மூலம் ஐன்ஸ்டினின் ஒளிமின் விளைவிற்காக விளக்கத்தை நிருபித்து அதன்மூலம் பிளாங்கின் குவான்டம் கொள்கைக்கு ஆக்கம் தந்தார். எனவே, இந்த குவாண்டம் கொள்கையின்படி ஒளி, துகள் தன்மைகொண்டிருப்பதாகவும் ஆகிறது.

8·8. ஒளியின் இருமைப் பண்புகள்: (Dual nature of light) மேலே கூறியவற்றிலிருந்து ஒளி சில சமயங்களில் அலைப் பண்புகளையும் சில நேரங்களில் துகள் பண்புகளையும் காட்டுகின்றது. ஒளியின் அலைப்பண்புகள் நீண்ட அலைநீளப் பகுதிகளிலும், துகள், பண்பு குறைந்த அலைநீளப் பகுதிகளிலும் வெளிப்படுகின்றன.

# 9. ஒளியின் அலைக்கொள்கை

## (Wave theory of Light)

9·1. அலை இயக்கம் : ஓர் ஊடகத்தின் துகள்கள் ஒருவகை மீள்சக்தியினால் பிணைக்கப்பட்டுள்ளதாகக் கொள்வோம். இதில் ஒரு துகளில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி, அங்கு அமைதிக் குலைவை ஏற்படுத்தும். இந்த அமைதிக் குலைவு, ஒரு துகளிலிருந்து மற்றொரு துகளிற்குத் தொற்றிக்கொண்டு செல்லும். இதில் முதலில் உள்ள துகளின் இயக்கம் சமகால அலைவாக அமைந்தால், மற்றத் துகள்களும் இதே முறையில் இயங்கத் தொடங்கும். இத்தகைய சமகால அலைவு ஒரு துகளிலிருந்து மற்றொரு துகளுக்குத் தொற்றிக்கொண்டு செல்வதே அலையியக்கம் எனப்படும். இத்தகைய இயக்கத்தில் துகள்கள் ஒரே திசையில் நகர்ந்து கொண்டிரா. ஆனால், ஒரு புள்ளியை மையமாகக்கொண்டு அலைந்து (vibration) கொண்டிருக்கும். இருந்தும் இந்த அலைவினால் ஏற்படுகின்ற அமைதிக் குலைவு ஊடகத்தின் ஒரு துகளிலிருந்து மற்றொரு துகளிற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட வேகத்தில் தொற்றிச்செல்லும். இவ்வாறு அலைந்துகொண்டிருக்கும் எந்தத் துகளும் கொண்டிருக்கும் ஆற்றல் அதற்கு முன் அலைந்து கொண்டிருக்கும் துகளிலிருந்து கிடைக்கப்பெற்றதாகும். இந்த முறையில் அலையியக்கத்தின் மூலம் ஆற்றல் கடத்தப்படுகின்றது.

ஓர் ஒளிமூலத்திலிருந்து ஊடகத்தில் முடிவில்லாமல் பரவிக்கொண்டிருக்கின்ற அலைகள், முன்னேக்கு அலைகள் (progressive waves) எனக் கூறப்படும். இத்தகைய அலைகளை இரு வகையாகப் பிரிக்கலாம்.

1. குறுக்கலைகள் (transverse waves), (2) நெட்டலைகள் (longitudinal waves). குறுக்கலைகளில், துகள்களின் இடப்பெயர்ச்சி அலை பரவுகின்ற திசைக்குக் குறுக்காக இருக்கும். நெட்டலைகளில் துகள்களின் இடப்பெயர்ச்சி அலை பரவுகின்ற திசைக்கு இணையாக இருக்கும்.

சீரிசை இயக்கத்தினால் (simple hormonic motion) உண்டாகின்ற முன்னேக்குக் குறுக்கலைகளின் பண்புகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு கூறலாம்:

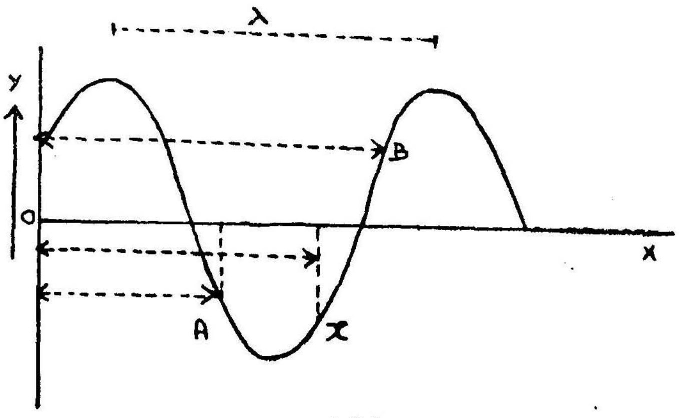
1. அலை பரவுகின்ற ஊடகத்தின் எல்லாத் துகள்களும் ஒரே அலைவு நேரத்தையும் வீச்சையும் (amplitude) உடைய சீரிசை இயக்கமாக இயங்கும். ஆனால், அலைவுக்கூட்டங்கள் (phase of vibration) துகளுக்குத் துகள் தொடர்ந்து மாறிக்கொண்டிருக்கும்.

2. எந்த ஒரு நேரத்திலும் அலைபரவுகின்ற ஊடகத்தின் துகள்கள், சைன் வரைபட (sine curve) அமைப்பு முறையில் அமைந்திருக்கும்.

3. அடுத்தடுத்து ஒரே அலைவுக் கூட்டத்திலுள்ள இரு துகள்களுக்கு இடையிலுள்ள தொலைவு, ஓர் அலை நீளமெனப்படும். இது ஓர் அலைவு நேரத்தில் அலைகடந்த தொலைவாகும்.

9·2. அலை இயக்கச் சமன்பாடு (Equation for wave motion): இத்தகைய அலையியக்கத்திற்கு இப்பொழுது ஒரு சமன்பாடு காண்போம். ஒவ்வோர் அலையும் சீரிசை இயக்கம்கொண்ட ஒரு துகளில் அல்லது பொருளிலிருந்து தொடங்கி, அருகிலுள்ள துகள்களுக்கு இந்த இயக்கத்தைப் பரப்பிக்கொண்டிருக்கிறது. ஆகையால், ஊடகத்தினுள் உள்ள ஒவ்வொரு துகளும் சீரிசை இயக்கத்தில் இயங்கிக்கொண்டிருக்கும். முன் கூறியதுபோல், இந்த அலையின் அமைப்பு படம் 9·1-ல் காட்டியபடி ஒரு சைன் வரைபட (sine curve) அமைப்பாக இருக்கும்.

இடப்பெயர்ச்சி




படம் 9·1

படத்தில் O என்ற துகளிலிருந்து அலைகள் தோன்றுவதாகக் கொள்வோம். இந்த O என்ற துகள் அலைவு இயக்கத்திற்கு உட்

பட்டிருந்தால், ஒரு குறிப்பிட்ட நேரம் '$t$' ல் OY திசையில் இந்தத் துகளின் இடப்பெயர்ச்சியை,

$$Y = a \sin \frac{2\pi t}{T} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 1$$

என்ற சமன்பாட்டின்மூலம் குறிக்கலாம். இதில் $a$ என்பது இயக்கத்தின் வீச்சாகவும் T அலைவு நேரமாகவும் (period of vibration) கொள்ளவேண்டும். அலையியக்கப்படி இந்தத் துகளில் ஏற்படுகின்ற அமைதிக் குலைவு மற்றத் துகள்களுக்கும்பற்றி முன்னேறுகிறது. மேலும் $t'$ நேரத்தில் இந்த அமைதிக் குலைவு O-ல் இருந்து, ஊடகத்தின் X-வரை பரவி உள்ளதாகக் கொண்டால், X-ல் ஏற்பட்டுள்ள இடப்பெயர்ச்சி $t'$ நேரத்திற்குமுன் O-ல் இருந்த இடப்பெயர்ச்சிக்குச் சமம். ஆகையால், X-ல் ஏற்பட்டுள்ள இடப்பெயர்ச்சி,

$$Y = a \sin \frac{2\pi}{T}(t - t') \text{ என்றாகும்.}$$

அலையின் திசைவேகம் இந்த ஊடகத்தில் $v$ என்றும், OX தொலைவு $x$ க்குச் சமமென்றும் கொண்டால் $t' = \frac{x}{v}$ ஆகும்.

எனவே,

$$Y = a \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{v}\right)$$

அல்லது $$Y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{vT}\right)$$

$$= a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \text{ என்று ஆகும்.}$$

∴ $v$ அலைவேகம், T அலைவுநேரம் VT = λ) ஆகையால்,

$$Y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad 2$$

என்ற சமன்பாடு அலையியக்கத்தைக் குறிக்கும்.

மேலும், அதே நேரத்தில் O-விலிருந்து $x = \lambda$ ஆக உள்ள B என்ற துகளின் இடப்பெயர்ச்சி

$$Y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} = \frac{\lambda}{\lambda}\right)$$

ஆனால், கணித முறைப்படி இந்தச் சமன்பாடு,

$$Y = a \sin 2\pi \frac{t}{T}$$ என ஆகும். இது அதே

நேரத்தில் O-வினுடைய இடப்பெயர்ச்சிக்குச் சமமாகும். ஆகையால், O, B என்ற இடத்திலுள்ள இரு துகள்களும் எப்பொழுதும் ஒரு கூட்டத்தில் அலைந்துகொண்டிருக்கும். இந்த இரு துகள்களும் சம கட்டத் (same phase) துகள்கள் எனப்படும். அதே நேரத்தில், O-விலிருந்து $x = \frac{\lambda}{2}$ ஆகவுள்ள A என்ற புள்ளியிலுள்ள துகளின் இடப்பெயர்ச்சி,

$$Y = a \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{\lambda}{2\lambda} \right)$$

$$= a \sin \left( \frac{2\pi t}{T} - \pi \right)$$

$$= - a \sin 2\pi \frac{t}{T}$$ என ஆகும்.

A துகளின் இடப்பெயர்ச்சி O துகளின் இடப்பெயர்ச்சிக்குச் சமம். ஆனால், இந்த இரு இடப்பெயர்ச்சிகளும் ஒன்றுக்கொன்று எதிர்த்திசையிலிருக்கும். இதைத்தான் — குறி காட்டுகிறது. இந்த இரு துகள்களும் ஒன்றுக்கொன்று எதிர்கட்டத்தில் அலைந்து கொண்டிருக்கும். ஆகவே, இந்த இரு துகள்களும் எதிர்கட்டத (opposite phase) துகள்கள் எனப்படும். சமன்பாடு 2 எந்த ஒரு நேரத்திலும் ஊடகத்தின் எந்தத் துகள்களின் இடப்பெயர்ச்சியையும் கொடுக்கின்றது. இதன் காரணமாக இந்தச் சமன்பாடு ஒரு குறுக்கலை யியக்கத்தின் சமன்பாடு ஆகும்.

இந்தச் சமன்பாட்டில், $2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ என்பது அந்தத் துகளின் $t$ நேர்கட்டமாகும் (phase) ஒரே நேரத்தில் $x$ இடைவெளி உள்ள O, X என்ற இரு இடங்களிலுள்ள இரு துகள்களின் அலைவுக் கூட்டங்கள் முறையே, $\frac{2\pi t}{T}$, மற்றும் $2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ ஆகும்.

இந்த இரு புள்ளிகளுக்குமுள்ள கட்ட வேறுபாடு (phase difference)

$$\delta = 2\pi \frac{t}{T} - \left\{ 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right\}$$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} x$$ ஆகும்.

மேலும் படம் 9·1 ல் ஒரே நேரத்தில் Oவிலிருந்து $x_1$, $x_2$ தொலைவிலுள்ள A, B என்ற இரு துகள்களின் இடப்பெயர்ச்சி முறையே,

$$Y_1 = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda}\right) \text{ ஆகும்.}$$

$$Y_2 = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda}\right)$$

இந்த இரு துகள்களின் கட்ட வேறுபாடுகள்

$$\delta = 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda}\right) - 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda}\right)$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda} (x_2 - x_1)$$

இதில்$(x_2 - x_1)$ என்பது, அலை A-யிலிருந்து B-க்குச் செல்வதற்குக் கடக்கவேண்டிய அதிகப் பாதை தூரம். இதிலிருந்து அலையியக்கத்திலுள்ள எந்த இரு துகள்களின் கட்ட வேறுபாட்டையும் அப்புள்ளிகளிடையேயுள்ள பாதை வேறுபாட்டை (path difference) $\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)$ என்ற ஓர் உறுப்பால் பெருக்கினால் பெறலாம் என ஆகின்றது. அல்லது,

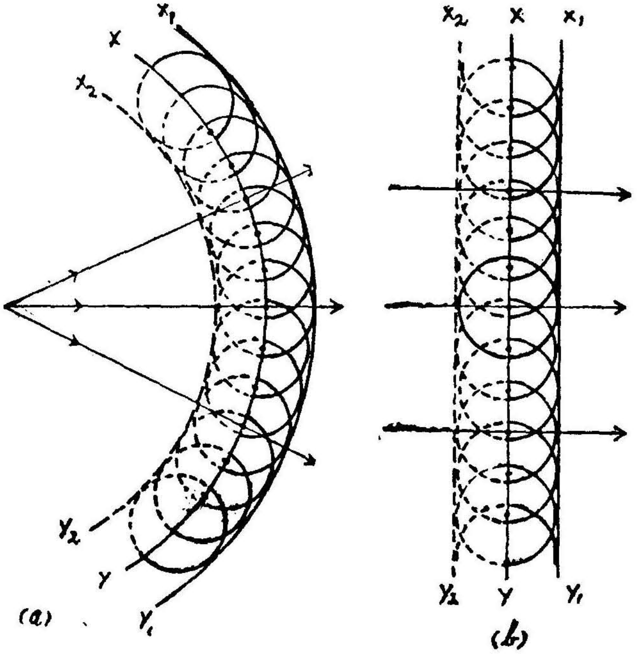
$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(\text{பாதை நள வேறுபாடு}) \quad \dots \dots \dots \quad 3.$$

இந்தச் சமன்பாட்டை நாம் மீண்டும் குறுக்கிட்டு விளைவுப் பகுதியில் பயன்படுத்துவோம்.

9·3. ஹைஜயன்ஸ் கொள்கை (Huygen's principle): அலை இயக்க முறையில், எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல் முதலிய விளைவுகளை விளக்குவதற்கு ஹைஜயன் ஒரு கொள்கையை வெளியிட்டார். இது ஹைஜயன் கொள்கை எனப்படும். இந்தக் கொள்கைப்படி, ஓர் ஒளிமூலத்திலிருந்து தோன்றுகின்ற ஒளி, அலைகளாக எல்லாத் திசைகளிலும் பரவுகின்றது. இந்த அலைகள் ஈதர் என்ற கற்பனை ஊடகத்தின்வழி பரவுவதாகக் கொள்ளவேண்டும்.

படம் 9·2 ($a$)-ல் S என்ற ஒரு புள்ளி ஒளிமூலத்திலிருந்து ஒளி அலைகள் எல்லாத் திசைகளிலும் பரவுவதாகக் கொள்வோம். இந்தப் பரவுதலால், ஒரு குறிப்பிட்ட காலம் '$t$'க்குப்பின் X Y என்ற பரப்பிலுள்ள எல்லாத் துகள்களும் ஒரே கட்டத்தில் அலைந்துகொண்டிருக்கும். $v$ ஒளியின் வேகமானால், X Y என்பது S ஐ மையமாகவும், $vt$ ஐ ஆரமாகவும் கொண்டு வரையப்பட்ட கோளப் பகுதியாகும். X Y

என்ற பரப்பை அலைமுகப்பாகக் (ware front) கொள்ளவேண்டும். ஒரே நேரத்தில் அலையத் தொடங்கி, ஒரே கட்டத்தில் அலைந்து



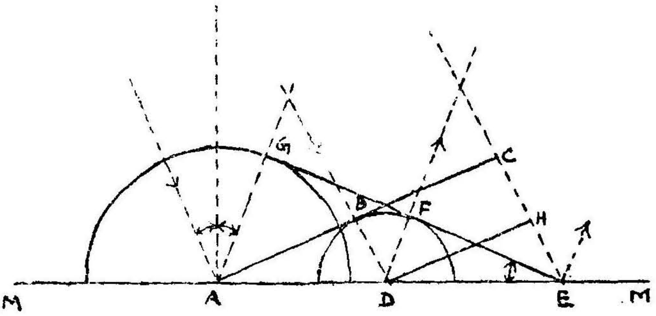

படம் 9·2 (a) படம் 9·2 (b)

கொண்டிருக்கும் புள்ளிகளின் நியமம் (locus) அலைமுகப்பாகும். ஒரு புள்ளி ஒளிமூலத்திலிருந்து குறைந்த தொலைவில் அலைமுகப்புக் கண்டால், அது கோள அலைமுகப்பாக இருக்கும் (படம் 9·2-a). ஒளிமூலத்திலிருந்து நெடுந்தொலைவில் அலைமுகப்புக் கண்டால், அது சமதள அலைமுகப்பாகும் (படம் 9·2-b). ஆகையால், ஒரு புள்ளியிலிருந்து பரவுகின்ற அல்லது ஒரு புள்ளியை நோக்கிக் குவிகின்ற ஒளி, கோள அலைமுகப்பையும், இணை ஒளிக்கற்றைகள் சமதள அலைமுகப்பையும் ஏற்படுத்தும். ஹைஜயன் கொள்கையைச் சுருக்கிப் பின்வருமாறு கூறலாம் : 'எந்த ஒரு நேரத்திலும், அதற்குச் சற்று நேரத்திற்குமுன் உள்ள அலைமுகப்பின் ஒவ்வொரு புள்ளியில் இருந்தும் தோன்றிய இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகளின் உறை (envelope of secondary wavelets) அந் நேரத்தின் அலைமுகப் பாகும். படம் 2 (a)-ல் XY என்ற அலைமுகப்பு S என்ற ஒளிமூலத்திலிருந்து தோன்றியதாகும். இந்த அலைமுகப்பில் உள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் புதிய தோற்றுவாயாக மாறி, இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகளைத் தோற்றுவிக்கிறது. இந்த

இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகள், ஊடகத்தில் அதே வேகத்தில் பரவுகின்றன. இந்த இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகளின் உறை யானது, அந்த நேரத்தில் அலைமுகப்பினைக் கொடுக்கும். ஆகை யால், அலைமுகப்பு $xy$-ஐ அடைந்த $t$ வினாடிக்குப் பிறகு, அலைமுகப் பைக் காண, $xy$-ல் உள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியையும் மையமாகவும், $vt$-ஐ ஆரமாகவும் கொண்டு, கோளங்கள் வரையவேண்டும். இந்தக் கோளங்களுக்கு $x_1\ y_1$, $x_2\ y_2$ என்ற இரு உறைகள் வரைந்தால், $x_1\ y_1$ என்பது முன்னோக்கிச் செல்லும் அலைமுகப்பாகும். $x_2\ y_2$ பின்னோக்கிச் செல்கின்ற அலைமுகப்பாகும். ஆனால், இந்தப் பின்னோக்கிச் செல்லும் அலைமுகப்பு அழிந்துவிடும் என்று ஹைஜயன் கூறினாலும், அதற்கு எந்தவிதக் காரணமும் கூறவில்லை. இருந்தபோதிலும் பின்னால் கிர்க்காப்ஃ (krichoff) என்பவர் இத் தகைய பின்னோக்கிச் செல்லும் அலைகள் அழிந்துவிடும் என்பதைக் கணிதமுறைப்படி காட்டியுள்ளார்.

இந்த ஹைஜயன் முறையைக்கொண்டு அலையியக்கக் கொள்கையினால் எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல் முதலியவற்றை எவ்வாறு விளக்கமுடியும் என்பதைக் காண்போம்.

9·4. ஒரு சமதள அலையின் சமதள எதிரொளிப்பு (Reflection of a plane wave front at a plane reflecting surface): ABC என்ற ஒரு சமதள அலைமுகப்பை (படம் 9·3) எடுத்துக்கொள்வோம்.




படம் 9·3

இந்த அலை அம்புக்குறிவழி முன்னேறுவதாகக் கொள்வோம். இந்த அலைமுகப்பின் A முனை ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் MM என்ற ஒரு சமதள எதிரொளிப்புத் தளத்தினைத் (plane reflecting surface) தொடும். அலைமுகப்புத் தளமும், எதிரொளிப்புத் தளமும் தாள் தளத் திற்கு நேர்குத்தாக இருப்பதாகக் கொள்ளவேண்டும். அலை முகப்பின் A பகுதி எதிரொளிப்புத் தளத்தைத் தொட்டவுடன் ஹைஜயன்ஸ் கொள்கைப்படி இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகளைத் தோற்றுவிக்கிறது. இதேபோல், ABC அலைமுகப்பின் ஒவ்வொரு பகுதியும் எதிரொளிப்புத் தளத்தைத் தொடும்பொழுதும் இத்தகைய

இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகளைத் தோற்றுவிக்கின்றது. ஆகையால், எதிரொளிப்புத் தளத்தில் A-க்கும் E-க்கும் இடைப்பகுதி இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகளின் தோற்றுவாயாக ஆகின்றது. இவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்பட்ட அலைக்குட்டிகள், ஒளி அலைகள் வந்த ஊடகத்தில் பரவுகின்றன. ABC என்ற அலைமுகப்பின் C முனை, எதிரொளிப்புத் தளத்தைத் தொடுவதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்தில் எதிரொளிப்புத் தளத்தில் A-க்கும் E-க்கும் இடையில் தோன்றிய இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகளின் முகப்பு எதிரொளிப்பு அலைமுகப்பாகும்.

*(அ)* எதிரொளிப்பு அலைமுகப்பைக் காணுதல்: A B C என்ற அலைமுகப்பின் C முனை, எதிரொளிப்புத் தளத்தை அடைய எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் $t$ எனக் கொள்வோம். ஒளியின் வேகம் V ஆனால் CE= V$t$ ஆகும். C முனை எதிரொளிப்புத்தளத்தைத் தொடுவதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்தில் A-யில் இருந்து கிளம்பிய இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகள் AG தூரம் கடந்திருக்கும். அலைமுகப்பின் B பகுதி எதிரொளிப்புத் தளத்தைA முனையைத் தொட்ட சிறிதுகாலம் கடந்தபின் தான் தொடும். ஆகையால் C முனை எதிரொளிப்புத் தளத்தைத் தொடும்பொழுது B பகுதியால் தோற்றுவிக்கப்பட்ட இரண்டாம் நிலை அலைகள் A யால் தோற்றுவிக்கப்பட்ட அலைகள் கடந்த தூரத்தைவிடக் குறைந்த தூரம்தான் சென்றிருக்கும். ஆகையால் அந்தத் தூரம் DF=V $t_1$=HE ஆகும். $t'$ என்பது படு அலை முகப்பின் H முனை E-ஐ அடைய எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம். A-ஐயும் D-ஐயும் மையமாகவும், AG, DF இவற்றை ஆரமாகவும் கொண்டு இரு அரை வட்டங்கள் வரைந்தால் இவைகள் AD பகுதியில் தோன்றிய இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகளைக் குறிக்கும். இந்த அலைக்குட்டிகளுக்கு GEF என்ற ஒரு தொடுதளம், தாள் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக வரைந்தால் இந்தத் தொடுதளம்தான் எதிரொளிப்பு அலைமுகப்பாகும். இந்தத் தொடுதளம்A-க்கும் E-க்கும் இடையே தோன்றிய எல்லா இரண்டாம்நிலை அலைக்குட்டிகளையும் தொடும் என்று காட்டலாம்.

ACE, DHE என்ற இரு முக்கோணங்களை எடுத்துக்கொள்வோம். இந்த இரு முக்கோணங்களும் ஒத்த முக்கோணங்கள் (similar triangles):

ஆகையால், $\frac{AE}{DE} = \frac{CE}{HE}$

ஆனால், CE = AG; HE = DF

ஆகவே, $\frac{AE}{DE} = \frac{AG}{DF}$ அல்லது $\frac{DF}{DE} = \frac{AG}{AE} = \sin r$

ஆகையால், DEF என்ற முக்கோணத்தில் $\widehat{DEF}$ என்ற கோணம் நேர்கோணமாகும். ஆனால், ABC என்ற அலைமுகப்பின் C முனை எதிரொளிப்புத் தளத்தைத் தொடும்பொழுது, D-ல் இருந்து தோன்றிய இரண்டாம் நிலை அலைகள் F-ஐ அடைந்திருக்கும். ஆகையால், D-யில் இருந்து கிளம்பிய இரண்டாம் நிலை அலைக் குட்டிகள் GE தொடுதளத்தை F என்ற புள்ளிவழி தொடுகின்றன. இதே விதமாக மற்றப் புள்ளிகளிலிருந்து கிளம்பிய இரண்டாம் நிலை அலைகளின் முகப்பை இந்த GE தொடுதளம் தொடும் என்று காட்டலாம். ஆகையால், இந்த GFE என்ற தளம் எதிரொளிப்பு அலைமுகப்பாகும்.

(ஆ) எதிரொளிப்பு விதிகள் (Laws of reflection): '(i)' என்ற கோணம் படு அலைமுகப்பிற்கும் எதிரொளிப்புத் தளத்திற்கும் இடையில் உள்ள கோணம். இது படுகோணமாகும். r என்ற கோணம், எதிரொளிப்பு அலைமுகப்பிற்கும் எதிரொளிப்புத் தளத்திற்கும் இடையில் உள்ள கோணம். இது எதிரொளிப்புக் கோணமாகும்.

$$\frac{CE}{AE} = \sin i; \quad \frac{AG}{AE} = \sin r$$

ஆனால், $AG = CE$

ஆகவே, $\sin i = \sin r$

அல்லது, $i = r$

இதிலிருந்து படுகதிர்களும் எதிரொளிப்புக் கதிர்களும் ஒரு தளத்தில் அமைந்திருக்கும் என்பது தெளிவு.

ஆகையால், அலையியக்கக் கொள்கைமூலம் எதிரொளிப்பு விதிகளை விளக்கமுடிகின்றது.

9·5. சமதளப் பரப்பில் சமதள அலைமுகப்பின் ஒளிவிலகல் (Refraction of a plane wave through a plane surface): ஒளி ஓர் ஊடகத்திலிருந்து மற்றோர் ஊடகத்தினுள் பரவுவதை அலை இயக்கக் கொள்கை எவ்வாறு விளக்குகிறது என்பதைப் பார்ப்போம்.

MM என்ற பிரிதளம் (படம் 9·4) இரு ஊடகங்களைப் பிரிப்பதாகக் கொள்வோம். ABC என்ற ஒரு தள அலைமுகப்பு ஊடகம் 1-ல் முதலில் பரவுவதாகக் கொள்வோம். ABC அலைமுகப்பின் A பகுதி முதலில் MM என்ற பிரிதளத்தைத் தொடும். $V_1$, $V_2$ என்பன முறையே ஊடகம் 1, ஊடகம் 2-ல் ஒளி அலையின் திசைவேகமெனக் கொள்வோம். A என்ற புள்ளியில் இருந்து இரண்டாம்

நிலை அலைக்குட்டிகள் தோன்றி இரு ஊடகங்களிலும் பரவும். முதல் ஊடகத்தில் $V_1$ வேகத்தில் பரவும் அலைகள் எதிரொளிப்பினைக் கொடுக்கும். இதனைச் சென்ற பிரிவில் பார்த்தோம். இவ்வாறே ABC என்ற அலைமுகப்பின் ஒவ்வொரு பகுதியும், பிரிதளத்தைத் தொடுகின்ற ஒவ்வொரு புள்ளியில் இருந்தும் இத்தகைய இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகள் தோன்றி, ஊடகம் 2-ல், $V_2$ வேகத்தில் பரவும். இத்தகைய இரண்டாம்நிலை அலைக்குட்டிகளின் உறை ஒளிவிலகல் அலைமுகப்பைக் கொடுக்கும். இப்பொழுது ஊடகம் 2-ல் இவ்வாறு பரவும் அலைமுகப்பைக் காண்போம்.

(அ) ஒளிவிலகல் அலைமுகப்பைக் காணல் : ஊடகம் 1-ல் ABC அலைமுகப்பின் A பகுதி பிரிதளத்தைத் தொட்டுச் சிறிதுநேரத்திற்குப் பின், C பகுதி பிரிதளத்தைத் தொடும். இந்த நேரம் $t$ எனக் கொண்டால், இந்த நேரத்தில் A-ல் தோன்றிய இரண்டாம் நிலை அலைகள் ஊடகம் 2-ல் $V_2t$ தூரம் பரவியிருக்கும். இந்த அலைமுகப்பைக் காண்பதற்கு A-ஐ மையமாகக்கொண்டு $V_2t$-ஐ ஆரமாகக்கொண்டு ஓர் அரைக்கோளம் வரைந்தால், இந்த அரைக்கோளம்,E-ல் இருந்து இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகள் கிளம்பும் தறுவாயில்A-ல் இருந்து கிளம்பிய அலைகள் சென்ற தூரமாகும். இதேபோல் A-க்கும் E-க்கும் இடையிலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியில் இருந்தும் இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகள் கிளம்பி, ஊடகம் 2-ல் பரவும். இவ்வாறு A-ல் இருந்து Eவரை உள்ள புள்ளிகளில் இருந்து கிளம்பிய அலைகள் ஊடகம் 2-ல் சென்றதூரம் படிப்படியாகக் குறைந்துகொண்டு வரும். இவ்வாறு பரவும் அலை முகப்பைக் காண்பதற்கு E-யில் இருந்து A-யை மையமாகக்கொண்டு வரைந்த அரைக் கோளத்திற்கு EFG என்று ஒரு தொடுதளம், தாள் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக வரைந்தால், இந்த EFG என்ற தொடுதளம் ஊடகம் 2-ல் பரவுகின்ற ஒளிவிலகு அலைமுகப்பாகும்.

இந்தத் தொடுதளம் A-க்கும் E-க்கும் இடையே தோன்றுகின்ற எல்லா இரண்டாம்நிலை அலைகளைத் தொடும் என்று காட்டலாம். A-க்கும் E-க்கும் இடையே D என்ற புள்ளியில் தோன்றிய இரண்டாம் நிலை அலையை எடுத்துக்கொள்வோம். இந்த D என்ற புள்ளி, ABC என்ற அலைமுகப்பின் B பகுதி பிரிதளத்தைத் தொட்ட பகுதி. அலைமுகப்பின் C முனை E-ஐத் தொடும் நேரத்தில், D-ல் தோன்றிய இரண்டாம்நிலை அலைக்குட்டிகள் ஊடகம் 2-ல் DFதூரம் பரவி இருக்கும்.

DF என்பது $V_2 t'$க்குச் சமம். ஆனால், $t'$ அலைமுகப்பின் H முனை E-ஐ அடைய எடுத்துக்கொண்ட நேரம், அதாவது $t' = \frac{HE}{V_1}$ D-ஐ மையமாகவும்,DF-ஐ ஆரமாகவும் கொண்டு ஓர் அரைக்

கோளம் வரைந்தால், இது AG என்ற தொடுதளத்தை F என்ற புள்ளியில் தொடுகின்றது. இந்தத் தொடுதளம் D-ஐ மையமாகக் கொண்டு வரைந்த அரைக்கோளத்திற்கும் தொடுதளம் என்று காட்டலாம்.

AEC, DEH என்ற இரு முக்கோணங்களை எடுத்துக்கொண்டால், இவை இரண்டும் ஒத்த முக்கோணங்கள் ஆகையால்,

$$\frac{AE}{DE} = \frac{CE}{HE} \text{ ஆகும்.}$$

ஆனால், $\frac{CE}{V_1} = \frac{AG}{V_2}$

அல்லது, $CE = AG.\frac{V_1}{V_2}$

இதேபோல் $\frac{HE}{V_1} = \frac{DF}{V_2}$; $HE = DF. \frac{V_1}{V_2}$

ஆகையால், $\frac{AE}{DE} = \frac{CE}{HE} = \frac{AG}{DF}$

அல்லது, $\frac{DF}{DE} = \frac{AG}{AE}$

ஆனால், $\frac{AG}{AE} = \sin r$

ஆகையால், $\frac{DF}{DE} \sin r$

அல்லது DFE என்ற கோணம் 90° ஆகிறது. அதாவது EFG என்ற தளம் D-ஐ மையமாகக்கொண்டு வரைந்த அரைக்கோளத்திற்குத் தொடுதளம் ஆகிறது. இதேபோல், A-க்கும் E-க்கும் இடையே தோன்றிய எல்லா இரண்டாம்நிலை அலைகளுக்கும், EFG தொடுதளம் எனக் காட்டலாம். ஆகையால், EFG என்ற தளம் ஊடகம் 2-ல் பரவுகின்ற அலைமுகப்பாகும். இந்த அலைமுகப்பு ஊடகம் 2-ல் விலகு அலைமுகப்பாகும்.

(ஆ) ஒளி விலகல் விதிகள் : ஊடகம் 1-ல் ABC அலைமுகப்புக்கும் பிரிதளத்திற்கும் இடையிலுள்ள கோணம் *i* படுகோணம். ஊடகம் 2-ல் GFE என்ற விலகு அலைமுகப்பிற்கும் பிரிதளத்திற்கும் இடையில் உள்ள கோணம் *r* விலகு கோணமாகும்.

$$\sin i = \frac{CE}{AE}$$

$$\sin r = \frac{AG}{AE}$$

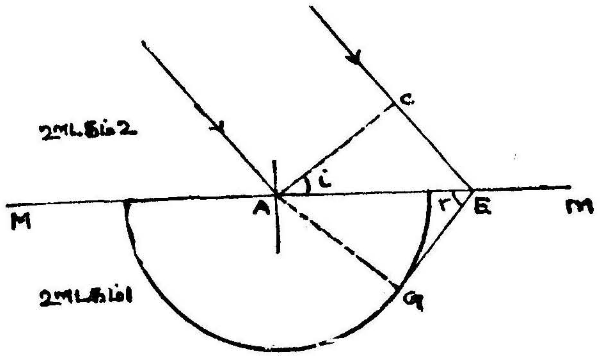
ஆகவே, $\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{CE}{AG}=\frac{V_1}{V_2}.\ \frac{AG}{AG}$

விலகு எண் $_1\mu_2=\frac{V_1}{V_2}$ = மாறலி.

விலகு எண் $_1\mu_2=\frac{\sin i}{\sin r}=$ $\frac{\text{ஊடகம் 1-ல் ஒளிவேகம்}}{\text{ஊடகம் 2-ல் ஒளிவேகம்}}$ = மாறிலி

இது ஸ்னல் விதி (Snell's law) ஆகும். அடர்குறை ஊடகத்தில் இருந்து அடர்மிகு ஊடகத்திற்கு ஒளி செல்லும்பொழுது $\frac{\sin i}{\sin r}$ = 1-ஐ விட அதிகமாக உள்ளது. ஆகையால் அலையியக்கக் கொள்கைப்படி, ஒளியின் வேகம் அடர்மிகு ஊடகத்தைவிட அடர் குறை ஊடகத்தில் அதிகமாக இருக்கவேண்டும். ஆனால், நியூட்டனின் நுண்மைக் கொள்கைப்படி, ஒளியின் வேகம் அடர்மிகு ஊடகத்தில் அதிகமாக இருக்கவேண்டும். ஆனால், ஃபோகால்ட் 1850-ல் சோதனையின்மூலம் அடர்மிகு ஊடகத்தில் ஒளியின் வேகம் அடர்குறை ஊடகத்தில் ஒளியின் வேகத்தைவிடக் குறைவு என்று நிரூபித்தார். இந்தச் சோதனையின் விளைவு, அலையியக்கக் கொள்கைக்கு ஆதரவாக அமைந்தது.

9·6. முழு அக எதிரொளிப்பு (Total internal reflection): அலையியக்கக் கொள்கையைக் கொண்டு முழு அக எதிரொளிப்பை விளக்கலாம்.




படம் 9·5 (a)

படம் 9·5(a)-ல் MM என்ற பிரிதளம் இரு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் தளமாகக் கொள்வோம். ஊடகம் 2-ஐ அடர்மிகு ஊடகமாகவும், ஊடகம் 1-ஐ அடர்குறை ஊடகமாகவும் கொள்வோம்.

AC என்ற ஒரு தள அலைமுகப்பு ஊடகம் 2-ல் இருந்து ஊடகம் 1-ல் ஊடுருவுவதாகக் கொள்வோம்.

AC அலைமுகப்பின் A முனை பிரிதளத்தை முதலில் தொடும்.

A-ல் இருந்து இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகள் தொடங்கி இரு ஊடகங்களிலும் பரவுகின்றன. ஊடகம் 2-ல் பரவுகின்ற அலைகள் எதிரொளிப்பு அலைகளாகும். ஊடகம் 1-ல் பரவுகின்ற அலைகள் ஒளி விலகல் அலைகளாகும்.

இப்பொழுது ஒளி விலகல் அலைமுகப்பைக் காண்போம். ஊடகம் 1-ல் ஒளி அலைகளின் வேகம் ஊடகம் 2-ல் ஒளி அலைகளின் வேகத்தைவிட அதிகம். ஒளி அலைகளின் வேகம் ஊடகம் 1, ஊடகம்2-ல் முறையே $V_1, V_2$ எனக் கொள்வோம். ஒளி விலகு அலை முகப்பைக் காண்பதற்கு, A-ஐ மையமாகக் கொண்டு,

$AG = \frac{CE}{V_2}$. $V_1$-ஐ ஆரமாகக்கொண்டு ஓர் அரைக்கோளம் வரைந்து, அதற்கு E-ல் இருந்து ஒரு தொடுதளம் வரைய வேண்டும். EG ஒளிவிலகல் அலைமுகப்பாகும்.

9·5 (a) படத்தில் $\frac{CE}{AE} = \sin i$

$$CE = AE \,.\, \sin i$$

$$AG = \frac{V_1}{V_2} .\, AE \sin i$$

$$= {}_1\mu_2 \sin i \; AE$$

படு அலைமுகப்பின் C பகுதி பிரிதளத்தைத் தொடும்பொழுது A-யிலிருந்து கிளம்பிய இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகள் கடந்த தூரம் AG ஆகும். அந்த AG-ன் மதிப்பு ${}_1\mu_2 (\sin i)$ AE ஆகிறது. இப்பொழுது மூன்று நிலைகள் ஏற்படும்.

முதல் நிலை : $\mu_2 \sin i < 1$

அதாவது, $AG < AE$

இந்த நிலையில் A ல் இருந்து தொடங்கிய ஊடகம் 1-ல் பரவுகின்ற இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகள் கடந்த தூரம் AE-ஐ விடக் குறைவாக இருப்பதால், E-ல் இருந்து தொடுதளம் வரையமுடியும். அதாவது, EG விலகல் அலைமுகப்பாகும்.

இரண்டாம் நிலை

(1) ஒரு குறிப்பிட்ட படுகோண மதிப்பிற்கு ${}_1\mu_2 \sin i = 1$ ஆகும். அப்பொழுது $AG = AE$ என்று ஆகிறது (படம் 9·5 b). அதாவது, AC அலைமுகப்பின் C முனை பிரிதளத்தைத் தொடுகின்ற நேரத்தில், ஊடகம் 1-ல் தோன்றிய இரண்டாம்நிலை அலைக்குட்டிகளும் E-ஐ அடைகின்றன. இதேபோல் A-க்கும் E-க்கும் இடையே

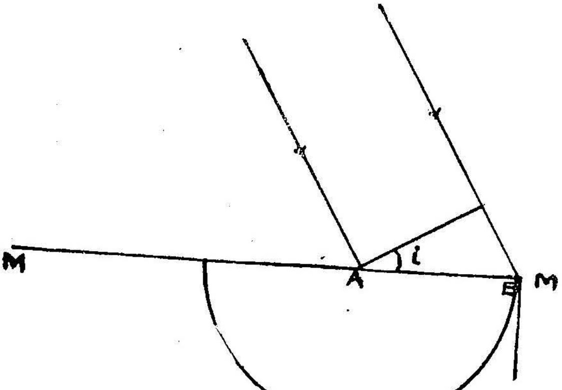
தோன்றிய எல்லா இரண்டாம்நிலை அலைக்குட்டிகளும் E-ஐ வந்தடையும். இதனால் ஊடகம் 1-ல் அலைமுகப்பானது பிரிதளத்தில் தவழ் நிலையில் (grazing) செல்கின்றது.

இந்தத் தவழ்நிலை ஏற்படுவதற்கு $_1\mu_2 \sin i$ 1 ஆக இருக்க வேண்டும். ஆனால், $_1\mu_2$ ஒரு மாறிலி ஆகையால் sin $i$-ன் ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பிற்குத்தான் $_1\mu_2 \sin i=1$ ஆக முடியும். இந்தக் கோண மதிப்பிற்கு மறுநிலைக்கோணம் (critical angle) என்று பெயர். ஆகையால்,

$$\sin i = \frac{1}{_1\mu_2}$$

அல்லது $$_1\mu_2 = \frac{1}{\sin i}$$ ஆகும்.

ஊடகம் 1

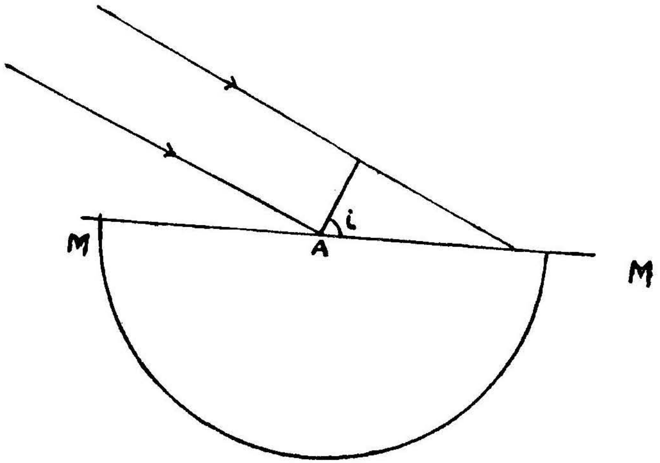



படம் 9·5 (b)

மூன்றாம் நிலை :

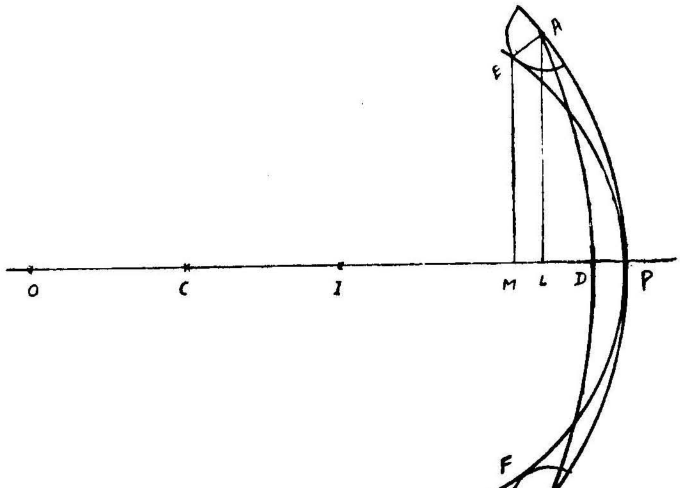
இதில் படுகோணம் $i$-ன் மதிப்பு அதிகமாகி, $_1\mu_2 \sin i > 1$ ஆனால், AG > AE அதாவது AC அலைமுகப்பின் C முனை (படம் 9·5c) பிரிதளத்தைத் தொடுவதற்குள் A-ல் இருந்து ஊடகம் 1-ல் தோன்றிய இரண்டாம்நிலை அலைக்குட்டிகள் E-ஐக் கடந்திருக்கும். ஆகையால், E-ல் இருந்து அலைமுகப்பைக் கொடுக்கும் தொடுதளம் வரையமுடியாது. ஆகையால், ஊடகம் 1-ல் விலகு அலைமுகப்பு இருக்கமுடியாது. ஊடகம் 2-ல் எதிரொளிப்பு அலைமுகப்புதான்

இருக்கமுடியும். இத்தகைய எதிரொளிப்பு முழு அக எதிரொளிப்பு எனப்படும்.




படம் 9·5 (c)

9·7. கோளப்பரப்பில் கோள அலைமுகப்பின் எதிரொளிப்பு: படம் 9·6-ல் APB ஒரு கோள எதிரொளிப்புத் தளமாகக் கொள்




படம் 9 6

வோம். O என்பது அதன் முதன்மை அச்சில் வைக்கப்பட்ட ஒரு புள்ளி ஒளிமூலம். இந்த ஒளி மூலத்திலிருந்து கிளம்பிய ADB

என்ற கோள அலைமுகப்பு, எதிரொளிப்புத் தளத்தை A, B என்ற இரு புள்ளிகளில் முதலில் தொடுகிறது. A, B என்ற இரு புள்ளிகளில் இருந்தும் இரண்டாம்நிலை அலைக்குட்டிகள் தொடங்கி, எதிரொளிப்புத் தளத்திற்கு இடப்புறமாகப் பரவுகின்றன. இதேபோல் ADB அலைமுகப்பின் மற்றப் பகுதிகள், எதிரொளிப்புத் தளத்தைத் தொட்டவுடன், A-க்கும் B-க்கும் இடையில் இரண்டாம் நிலை அலைகள் கிளம்பிப் பரவுகின்றன. அலைமுகப்பின் D பகுதிதான் எதிரொளிப்புத் தளத்தை இறுதியாகத் தொடும். P-ல் இருந்து இரண்டாம் நிலை அலைகள் கிளம்புகின்ற நேரத்தில் A, B என்ற புள்ளிகளில் இருந்து கிளம்பிய அலைக்குட்டிகளைக் காண A, B இவற்றை மையமாகவும் DP-ஐ ஆரமாகவும் கொண்டு இரு கோளங்கள் வரையவேண்டும். இந்த இரு கோளங்களைத் தொடுமாறு P வழியாக EPF ஒரு தொடுகோள தளம் வரைந்தால், இது A-க்கும் B-க்கும் இடையே தோன்றிய எல்லா இரண்டாம் நிலை அலைகளையும் தொடும். ஆகையால் இது எதிரொளிப்பு அலை முகப்பாகும். A-க்கும் B-க்கும் இடையில் தோன்றிய இரண்டாம் நிலை அலைகள் யாவும் I என்ற புள்ளியில் குவியும். ஆகையால், I-ல்தான் பிம்பம் தோன்றும். இது O என்ற புள்ளி ஒளிமூலத்தின் மெய்பிம்பமாகும்.

A, E என்ற இரு புள்ளிகளிலிருந்தும் முதன்மை அச்சுக்கோட்டிற்கு, AL, EM என்ற இரு நேர்குத்துக் கோடுகள் வரையவும். இடையிடம் குறைவாக இருப்பதால், கிட்டத்தட்ட AE, EM-க்குச் சமமாக இருக்கும்.

$$AL \approx EM$$

இவை ஒவ்வொன்றும் Y-க்குச் சமமாகக் கொள்வோம்.

$$PM = PL + LM = PL + PD \quad (\because \; LM \approx AE = PI)$$
$$= PL + PL - DL$$
$$PM + DL = 2\,PL$$

இப்பொழுது APB என்ற கோளப் பகுதி எதிரொளிப்புத் தளத்தைக் குறிக்கும். இதற்கு C மையமாகும். ADB படு அலைமுகப்பாகும். இதற்கு P மையமாகும். EPF எதிரொளிப்பு அலைமுகப்பாகும். இதற்கு I மையமாகும். மற்றும் $PQ = u$; $IP = v$; $CP = R$ எனக் கொள்வோம்.

படத்தில் இருந்து, $AL^2 = Y^2 = (2\,PC - PL)\,PL$

$$= (2\,OD - DL)\,DL$$
$$= (2\,PO - DL)\,DL$$
$$(\because \; OD \approx PO)$$
$$= (2\,IP - PM)\,PM$$

அல்லது, $Y^2 = (2R - PL) PL = (2u - DL) DL$

$= (2v - PM) PM$

$= 2R . PL = 2u . DL = 2v . PM$

($\because$ PL, DL, PM இவைகள் $u, v$, R இவற்றைப் பார்க்க மிகச் சிறியவை.)

சமன்பாடு 2-ல் இருந்து

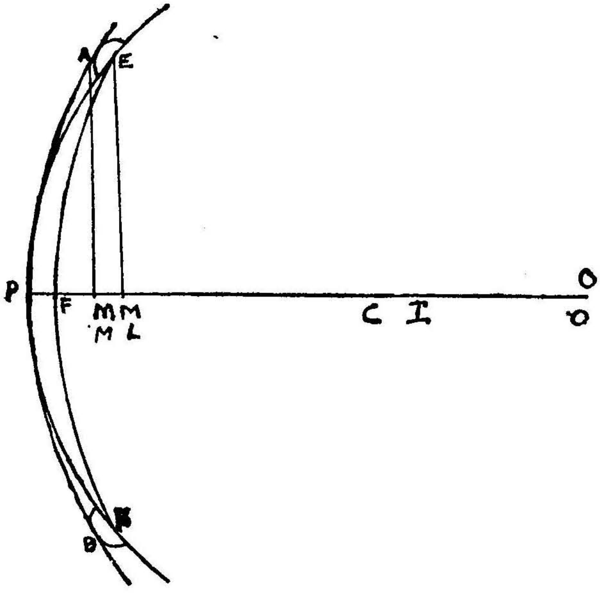
PL, DL, PM இவற்றின் மதிப்புகளைச் சமன்பாடு 1-ல் பொருத்தினால்,

$2 PL = PM + DL$ என்ற சமன்பாடு

$$\frac{2Y^2}{2R} = \frac{Y^2}{2v} + \frac{Y^2}{2u}$$ என்றாகும்.

அல்லது $$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{R}$$ என்றாகும்.

9·8. கோளப்பரப்பில் கோள அலைமுகப்பின் ஒளிவிலகல்: படம் 9·7-ல் APB என்பது இரு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் ஒரு கோளப் பரப்பாகும். ஊடகம் 1-ல் O என்ற ஒரு புள்ளி ஒளிமூலத்தில்




படம் 9·7

இருந்து கிளம்பிய EFG என்ற ஒரு கோள அலைமுகப்பு, கோளத் தளத்தை E, G என்ற புள்ளிகளில் முதலில் தொடும். இந்த E, G

என்ற புள்ளிகளிலிருந்து கிளம்பிய இரண்டாம்நிலை அலைக்குட்டிகள் ஊடகம் 2-ல் பரவும். இதேபோல் EFG அலைமுகப்பின் மற்றப் பகுதிகளும் கோளப் பரப்பைத் தொட்டவுடன் இரண்டாம் நிலை அலைக் குட்டிகள் கிளம்பி, ஊடகம் 2-ல் பரவும். இதே நிலையில் கடைசியாகக் கிளம்புகின்ற இரண்டாம்நிலை அலைக்குட்டி P என்ற புள்ளியில் இருந்து கிளம்பும். P-ல் இருந்து இரண்டாம்நிலை ஒளி அலைக் குட்டிகள் பரவத் தொடங்குகின்ற நேரத்தில் E, G இவற்றிலிருந்து கிளம்பிய அலைக் குட்டிகள் EH அல்லது GK தூரம் கடந்திருக்கும். E-ஐயும் G-ஐயும் மையமாகவும் EH, GK இவற்றை ஆரமாகவும் கொண்ட இரு அரைக்கோளங்கள் வரைந்தால், இந்த இரு அரைக் கோளங்களும் இவற்றிலிருந்து பரவும் அலைக்குட்டிகளின் நிலையைக் குறிக்கும். இந்த இரு அலைக்குட்டிகளையும் P என்ற புள்ளியையும் தொடுமாறு HPK என்ற ஒரு தொடுதளம் வரைந்தால், இது ஊடகம் 2-ல் பரவுகின்ற ஒளிவிலகல் அலைமுகப்பாகும். இந்த அலைமுகப்பு I என்ற புள்ளியிலிருந்து பரவுவதாகத் தோன்றும். ஆகையால் I என்பது O வின் மாயபிம்பமாகும்.

இப்பொழுது O, EFG என்ற கோளப்பரப்பிற்கு மையம் $OF \approx OP = u$.

C என்ற புள்ளி APB என்ற கோளப் பரப்பிற்கு மையம். $CP = R$.

I என்ற புள்ளி HPK என்ற கோளப்பரப்பிற்கு மையம். $IP = v$.

$\mu_1$, $\mu_2$ முறையே ஊடகம் 1, ஊடகம் 2 இவற்றின் ஒளி விலகெண் எனக் கொள்வோம் ஊடகம் 1 ல் ஒளிஅலை F-ல் இருந்து P-க்குப் பரவுகின்ற நேரத்தில் ஊடகம் 2-ல் ஒளிஅலை E யிலிருந்து H-க்குப் பரவுகிறது.

ஆகையால் FP யும் EH-ம் இரு ஊடகங்களிலும் சம ஒளிப் பாதைகளாகும் (optical path).

அல்லது

$$\mu_1 FP = \mu_2 EH \qquad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 1$$

E, H இவற்றில் இருந்து முதன்மை அச்சுக்கு EL, HM என்ற இரு குத்துக்கோடுகள் வரைந்தால், கோளப்பரப்பின் இடை இடம் குறைவாக இருப்பதால், கிட்டத்தட்ட EH, LM க்குச் சமமாகக் கொள்ளலாம்.

ஆகையால்,

$$\mu_1 FP = \mu_2 LM \text{ ஆகும்.}$$

மேலும்,

$$EL = HM = Y \text{ எனக் கொள்வோம்.}$$

$$\mu_1 PF = \mu_2 ML \text{ என்பது}$$

$$\mu_1 [PL - FL] = \mu_2 [PL - PM] \text{ ஆகும்.}$$

அல்லது,

$$\mu_2 PM - \mu_1 FL = [PL \mu_2 - \mu_1] \quad \dots \quad \dots \quad (2)$$

படம் 9·7-ல் HM ≈ EL = Y எனக் கொண்டால்,

$$Y^2 = (2v - PM) PM = (2R - PL) PL = (2u - FL) FL$$
$$= 2v PM = 2 RPL = 2u . FL \text{ ஆகும்.}$$

($\because$ PM, PL, FL இவைகள் $u, v, f$-ஐப் பார்க்கிலும் மிகச்சிறியவை.

ஆகையால், $PM = \frac{Y^2}{2v}$ ; $PL = \frac{Y^2}{2R}$ ; $FL = \frac{Y^2}{2u}$ .

இந்த மதிப்புகளைச் சமன்பாடு 2-ல் பொருத்தினால்

$$\mu_2 \frac{Y^2}{2v} - \mu_1 \frac{Y^2}{2u} = (\mu_2 - \mu_1) \frac{Y^2}{2R}$$

அல்லது $\frac{\mu_2}{v} - \frac{\mu_1}{u} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$

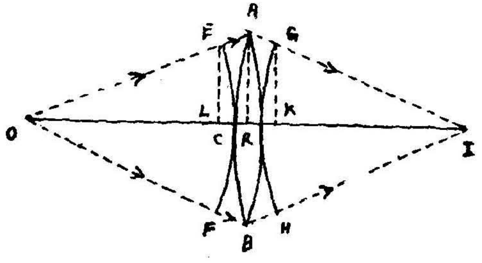
குறியீட்டு முறைப்படி R, $v$ இவை இரண்டும் — ஆகும்.

ஆகையால் $-\frac{\mu_2}{v} - \frac{\mu_1}{u} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$

அல்லது $\frac{\mu_2}{v} + \frac{\mu_1}{u} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R}$ என்றாகும்.

ஊடகம் 1 காற்றாக இருந்தால் இந்தச் சமன்பாடு

$\frac{\mu_2}{v} + \frac{1}{u} = \frac{\mu_2 - 1}{R}$ என ஆகும்.




படம் 9·8

9·9. குவிவில்லைவழி ஒளிவிலகல்: படம் 9·8-ல் ACB, ADB என்ற பக்கங்கள் ஒரு குவிவில்லையின் இரு கோளப் பரப்புகளாகும். $R_1$, $R_2$ முறையே இந்த இரு கோளப் பரப்புகளின் வளைவு ஆரங்களெனக் கொள்வோம். குவிவில்லை ஊடகத்தின் ஒளி விலகெண் $\mu$ எனக் கொள்வோம். குவிவில்லை சுற்றுப்புறம் காற்று ஊடகமாக இருக்கட்டும். ECF என்ற கோள அலைமுகப்பு O என்ற புள்ளி ஒளி

மூலத்திலிருந்து பரவுகிறது. இந்த அலைமுகப்பின் C பகுதி முதலில் குவிவில்லையைத் தொடுகிறது. இந்த C என்ற பகுதியில் இருந்து வில்லையினுள் இரண்டாம் நிலை அலைகள் கிளம்பி, வில்லையினுள் பரவி D-ஐ அடைகின்றன.

ஆனால், இதே நேரத்தில் அலைமுகப்பின் E, F என்ற பகுதிகளில் இருந்து கிளம்பிய இரண்டாம் நிலை அலைகள் A, B வழியே முறையே G, H-ஐ அடையும். G, D, H என்ற பகுதிகளைத் தொடுமாறு ஒரு கோளப்பரப்பு வரைந்தால், இது குவி வில்லையால் ஏற்பட்ட ஒளி விலகல் அலைமுகப்பாகும். இந்த அலைமுகப்பு I என்ற புள்ளியில் குவியும். அகையால் I என்பது O வினுடைய மெய்பிம்பமாகும். படம் 9·8-ல் C-ல் இருந்து D க்கு ஒளி கடக்கின்ற நேரத்தில் E-ல் இருந்து A வழி G-ஐ அடைகின்றது.

ஆகையால் (EA+AG) ம், CD-ம் சமஒளிப் பாதைகளாகும். அல்லது $(EA+AG) = \mu\, CD$ குவிவில்லையின் இடையிடைத்தூரம் குறைவாக இருப்பதால், கிட்டத்தட்ட (EA+AG)-ஐ EG க்குச் சமமாகக் கொள்ளலாம்.

$$EG = \mu \,.\, CD \quad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad 1$$

படம் 9·8 ல் EL, GK என்பன E, G இவற்றிலிருந்து முதன்மை அச்சிற்கு வரைந்த நேர்குத்துக் கோடுகளாகும்.

ஆகையால், $EG = LK$ ஆனால் $LK = \mu\, CD$

அல்லது $LC + CP + PD + DK = \mu\,[CP + PD]$

அல்லது $LC + DK = (\mu - 1)\, CP + PD \quad \ldots \qquad \ldots \qquad 2$

மேலும்,

$Y = EL = GK = AP$ எனக் கொள்வோம்.

ECF என்ற கோளப் பகுதியிலிருந்து

$$Y^2 = (2\,OC - CL)\,CL = 2\,OC \cdot CL \qquad (\because CL << OC)$$

ACB என்ற கோளப் பகுதியிலிருந்து

$$Y^2 = (2\,R_1 - CP) = 2\,R_1\,CP \qquad (\because CP << R_1)$$

ADB என்ற கோளப் பகுதியிலிருந்து,

$$Y^2 = (2\,R_2 - PD)\,PD = 2\,R_2 \cdot PD \qquad (\because PD << R_2)$$

$$Y^2 = (2\,DI - DK)\,DK = 2\,DI \cdot DK \qquad (\because DK << DI)$$

ஆகையால், $LC = \dfrac{Y^2}{2 \cdot OC}$ ; $OP = \dfrac{Y^2}{2R_1}$ ; $PD = \dfrac{Y^2}{2R_2}$

மற்றும் $DK = \frac{Y^2}{2R_2}$ என ஆகின்றன.

இந்த மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (2)ல் பொருத்தினால்,

$$\frac{Y^2}{2\,OC} + \frac{Y^2}{2\,DI} = (\mu - 1)\left\{\frac{Y^2}{2R_1} + \frac{Y^2}{2R_2}\right\}$$

என ஆகும்.

அல்லது, $$\frac{1}{OC} + \frac{1}{ID} = (\mu - 1)\left\{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right\}$$

ஆனால், OC, DI என்பன வில்லையில் இருந்து பொருள்தூரமும், பிம்பதூரமுமாகும். இவற்றை முறையே $u$, $v$ எனக் கொண்டால் மேலேயுள்ள சமன்பாடு

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = (\mu - 1)\left\{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right\}$$

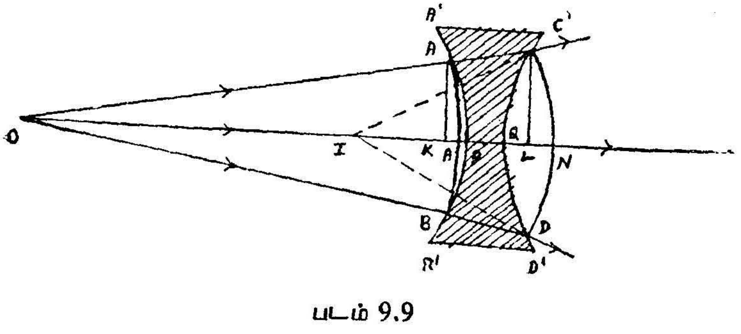
பொருளானது முடிவிலாத் தூரத்தில் இருந்தால் பிம்பம் குவியத்தில் விழும் ஆகையால்,

சமன்பாடு (3)

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

என ஆகும்.

9.10. குழி வில்லைவழி ஒளிவிலகல்: படம் 9·9-ல் A′ B′ C′ D′ என்பது இருகோளப் பரப்புகளால் ஆன ஒரு குழிவில்லையைக்




படம் 9.9

குறிக்கும். இதில் A′ PB′, C′ QD′ என்ற கோளப் பரப்புகளின் வளைவு ஆரங்கள் முறையே $R_1$, $R_2$ எனக் கொள்வோம். வில்லையின் இருபுறமும் காற்று இருப்பதாகக் கொள்வோம். வில்லை ஊடகத்தின் விலகு எண் $\mu$ எனக் கொள்வோம். இந்த வில்லையின் முதன்மை அச்சில் உள்ள O என்ற ஒரு புள்ளி ஒளிமூலத்தில்

இருந்து AMB என்ற கோள அலைமுகப்பு குழிவில்லையின் A′ PB′ பரப்பை முதலில் A, B என்ற பகுதிகளில் தொடுகின்றது. அலை முகப்பின் ஒவ்வொரு பகுதியிலிருந்தும் இரண்டாம் நிலை அலைக் குட்டி கள் தொடங்கிப் பரவுகின்றன. A, B இரு பகுதிகளிலிருந்து பரவிய அலைக்குட்டிகள் வில்லையின் மறுபுறத்தை C, D என்ற பகுதிகளில் அடையும். இதே நேரத்தில் AMB அலைமுகப்பின் M பகுதியிலிருந்து கிளம்பிய அலைக்குட்டிகள் வில்லையின் மறு புறத்தில் N என்ற பகுதியை அடையும். அதாவது AC-யும் MN-ம் சம ஒளிப்பாதைகள். ஆகையால் CND வழியே ஒரு கோளப் பரப்பு வரைந்தால் இது வில்லைவழி பரவிய ஒளிவிலகல் அலைமுகப்பாகும். இந்த அலைமுகப்பு I என்ற புள்ளியில் இருந்து பரவுவதாகத் தோன்றும். ஆகையால் I, O வினுடைய மாயபிம்பமாகும். குழி வில்லை குறைந்த இடை இடத்தை உடையதாகக் கொள்வோம். படம் 9·9-ல் AK, CL என்பன A, C இவற்றிலிருந்து முதன்மை அச்சிற்கு வரையப்பட்ட நேர்குத்துக் கோடுகள் இடையிடம் சிறிய தாக இருப்பதால், AC கிட்டத்தட்ட KL-க்குச் சமம் எனக் கொள் வோம்.

ACம் MNம் சம ஒளிப்பாதைகள்

$$\mu . AC. = MP + \mu PQ + QN$$

$$\mu . KL = MP + \mu PQ + QN \qquad (\because AC \approx KL)$$

$$\mu [KP + PQ + QL] = MP + \mu PQ + QN$$

$$\mu KP + \mu PQ + \mu QL = KP - KM + \mu PQ + QL + LN$$

$$(\mu - 1) \{KP - QL\} = -KM + LN \quad \dots \quad \dots \quad 1$$

படம் 9·9-ல் AMB என்ற கோளப் பரப்பின் வளைவு ஆரம் OM

APB என்ற கோளப் பரப்பின் வளைவு ஆரம் $R_1$

CQD என்ற கோளப்பரப்பின் வளைவு ஆரம் $R_2$

CND என்ற கோளப்பரப்பின் வளைவு ஆரம் I

AK, CL இவை இரண்டும் Yக்குச் சமமெனக் கொண்டால்,

$$Y^2 = (2\,OM - KM)\,KM = 2\,OM \cdot KM \quad \dots \ (KM << OM)$$

$$= (2\,R_1 - KP)\,KP = 2\,R_1\,KP \quad \dots \quad \dots \quad (KP << P_1)$$

$$= (2\,R_2 - QL)\,QL = 2\,R_2 \cdot QL \quad \dots \quad \dots \quad (QL << R_2)$$

$$= (2\,IL - LN)\,LN = 2\,IL.LN \quad \dots \ (LN << IL)$$ ஆகும்.

ஆகையால், $KM = \dfrac{Y^2}{2\,OM}$

ஆனால், $OM = u$ பொருள் தூரம்

$$KM = \frac{Y^2}{2u}$$

$$KP = \frac{Y^2}{2R_1}$$

$$QL = \frac{Y^2}{2R_2} \text{ மற்றும் } LN = \frac{Y^2}{2IL}$$

ஆனால் $IL = v$ பிம்பதூரம்

$$LN = \frac{Y^2}{2v}$$

இந்த மதிப்பீடுகளைச் சமன்பாடு (1)ல் பொருத்தினால்,

$$(\mu - 1)\left\{\frac{Y^2}{2R_1} + \frac{Y^2}{2R_2}\right\} = \frac{-Y^2}{2u} + \frac{Y^2}{2v}$$

அல்லது $$(\mu - 1)\left\{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right\} = -\frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

ஆனால், குறியீட்டுக் கொள்கைப்படி $v$, $R_1$ R இவைகள்—ஆகும். ஆகவே, மேலே உள்ள சமன்பாடு

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = (\mu - 1)\left\{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right\} \text{ என ஆகும்.}$$

பொருள்தூரம் $\infty$ ஆக இருந்தால், பிம்பதூரம் $f$ ஆகும். ஆகையால்,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left\{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right\} \text{ ஆகும்.}$$

## பயிற்சி

1. ஹைஜயனின் அலைக்கொள்கையை விளக்கிக் கூறுக. அலைக்கொள்கையின்மூலம் எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல் இவைகள் ஏற்படுவதை விளக்குக.
2. அலைக்கொள்கையின் அடிப்படையில், ஒரு கோள அலை முகப்பு கோளப்பரப்பில் ஏற்படுத்தும் ஒளிவிலகலை விளக்கிக் கூறு.
3. அலைக்கொள்கையின்மூலம், ஒரு குவி வில்லையின் சமன்பாடு,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left\{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right\} \text{ நிரூபி.}$$

4. அலைக்கொள்கையின்படி, ஒளியின் வேகம் அடர்மிகு ஊடகத்தில் அடர்குறை ஊடகத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கும் என்று காட்டு.

# 10. குறுக்கீட்டு விளைவு

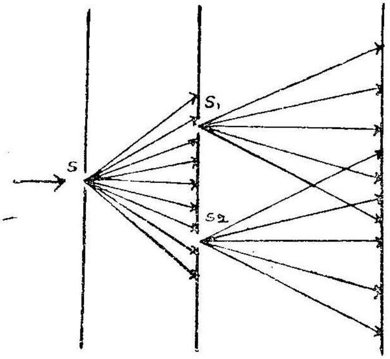
## (Interference)

10·1. குறுக்கீட்டு விளைவு : நீர்ப் பரப்பின்மேல் தோன்றும் இரு சிற்றலைகள் ஒன்றை ஒன்று கடந்த பின்பும், அவை எந்தவித மாறுதலையும் அடையாமல், தொடர்ந்து செல்வதைக் காணலாம். இதேபோல் இரு ஒளிக்கற்றைகள் குறுக்கிட்டால், ஒன்றினுலொன்று பாதிக்கப்படாமல், தொடர்ந்து தனித்தன்மையுடன் செல்லும். உதாரணமாகத் தனித்தனிப் பார்வையாளர்கள் ஒரு சிறு இடைவெளி வழியாக ஒரே நேரத்தில் தனித்தனிப் பொருள்களைத் திருத்தமாகக் காண முடியும். இதில் ஒவ்வொரு பொருளிலிருந்தும் கிளம்புகின்ற ஒளிக் கற்றைகள் அந்தச் சிறு இடைவெளியைத் தாண்டும் பொழுது ஒன்றிலொன்று குறுக்கிடுகின்றன. இந்த ஒளிக்கற்றைகள் ஒன்றை ஒன்று கடந்தபின், எந்த வேறுபாடுமின்றிச் சென்றாலும், ஒன்றை ஒன்று கடக்கின்ற இடத்தில், அவற்றினுடைய ஒளிச் செறிவில் மாற்றங்கள் நிகழக்கூடும். இவ்வாறு ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட ஒளிக் கற்றைகள் ஒன்றை ஒன்று கடக்கின்றபொழுது, அந்த இடத்தில் ஏற்படுகின்ற ஒளிச்செறிவு மாறுபாடு குறுக்கீட்டு விளைவு எனப்படும்.

இந்தக் குறுக்கீட்டு விளைவை விளக்குவதற்கு, ஒளி, அலையியக்கத்தின்மூலம் பரவுவதாகக் கொள்ளவேண்டும். நியூட்டனின் துகள் கொள்கையைக்கொண்டு குறுக்கீட்டு விளைவை விளக்க இயலாது. இதன் காரணமாக ஹைஜயனின் அலையியக்கக் கொள்கை மேலும் வலுவுற்றது.

ஒளிக்கற்றைகள் ஒன்றுடன் ஒன்று குறுக்கிடும்பொழுது, அந்த இடத்தில் ஒளிச்செறிவு மாறுபடுமென்ற குறுக்கீட்டு விளைவை தாமஸ் எங் (Thomas Young) என்பவர் ஒரு சோதனையின்மூலம் காட்டினார்.

10·2. எங் சோதனை (Young's experiment): S என்ற ஒரு சிறு பிரிவின் வழியாக (படம் 10·1) ஒளிக்கற்றைகளை வெளிவரச் செய்து இவ்வாறு வெளிவந்த ஒளிக்கற்றைகளை, ஒன்றுக்கொன்று மிக அருகிலும், S-லிருந்து வைக்கப்பட்ட சமதூரத்திலும் $S_1$, $S_2$ என்ற



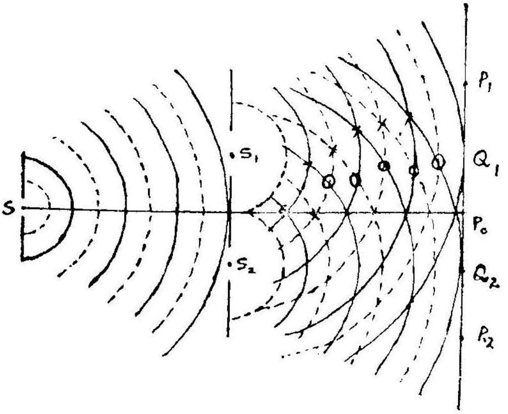

படம் 10·1

இரு சிறு பிளவுகளில் விழச்செய்ய வேண்டும். இந்த $S_1$, $S_2$ பிளவுகளிலிருந்து விரிகின்ற இரு ஒளிக்கற்றைகளை, ($S_1$, $S_2$ இவற்றிலிருந்து) சற்றுத் தொலைவிலுள்ள திரையில் விழச்செய்தால், திரையில் ஒளிக்கற்றைகள் ஒன்றின் மேலொன்று பொருந்துகின்ற இடத்தில் ஒளிச் செறிவு, ஒரே சீராக இல்லாமலிருப்பதைக் காணலாம். திரையின் இந்தப் பகுதியில் இரு சிறு பிளவுகளுக்கு இணையான இருண்ட, ஒளிமிகுந்த பட்டைகள் ஒன்றுவிட்டொன்று தொடர்ந்து இருப்பதைக் காணலாம். $S_1$, $S_2$ என்ற பிளவுகளில் ஒன்றை மூடிவிட்டாலும் இந்தப் பட்டைகள் மறைந்துவிடும். ஆகையால் இத்தகைய பட்டைகள் ஏற்படுவதற்குக் காரணம், இரு பிளவுகளிலிருந்தும் வெளிவருகின்ற ஒளிக்கற்றைகளின் செயல் என்பது தெளிவாகிறது.

10·3. குறுக்கீட்டு விளைவிற்கான அலைக்கொள்கையின் விளக்கம்: இனி மேலேகண்ட ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவை, அலையியக்கக் கொள்கையைக்கொண்டு எவ்வாறு விளக்கமுடியுமென்று காண்போம்.

மேலே கண்ட சோதனையில் S என்ற பிளவிலிருந்து ஒளி பரவுவதாகக் கொண்டோம். இவ்வாறு ஒளி பரவும்பொழுது அது அலைகளாக ஊடகத்தில் பரவுகிறது. அலை பரவுகின்ற எந்தப் பரப்பும் அலை பரவுகின்றபொழுது அலை முகடுகளையும் (crests), அலை அகடுகளையும் (troughs) கொண்ட நிலையிலிருக்கும். படம் 10·2-ல் இந்த அலைமுகடுகள் தொடர்ந்த கோடுகளாகவும் அலை அகடுகள் புள்ளிக்கோடுகளாகவும் காட்டப்பட்டுள்ளன.

இந்த ஒளி அலைகள் $S_1$, $S_2$ என்ற பிளவுகளைத் தொட்டவுடன் ஹைஜயன் கொள்கைப்படி $S_1 S_2$ இரண்டும் இரண்டாம் நிலை அலைக் குட்டிகளின் தோற்றுவாயாகி, இரண்டாம் நிலை அலைகளை ஒரே



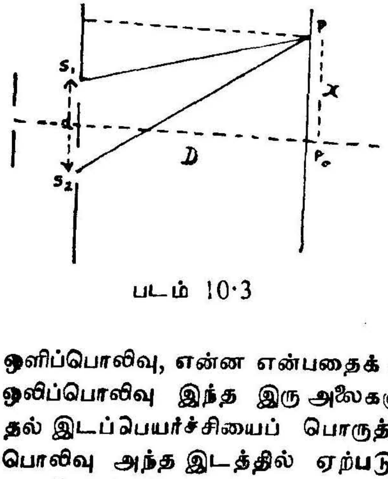

படம் 10.2

நேரத்தில் அனுப்புகின்றன. இந்த இரு பிளவுகளிலிருந்தும் கிளம்பிய அலைகளும் ஊடகத்தில் ஒரே நேரத்தில் பரவுகின்றன. ஆகையால் ஊடகத்தின் துகள்கள் இரு அலையியக்கங்களுக்கும் உட்பட்டு அதிர்கின்றன. படத்தில் X குறியிட்ட இடங்களில் ஓர் அலையினுடைய முகடும் மற்றோர் அலையினுடைய முகடும் அல்லது ஓர் அலையினுடைய அகடும் மற்றோர் அலையினுடைய அகடும் பொருந்துகின்ற இடங்களைக் குறிக்கும். இங்கெல்லாமுள்ள துகள்களின் இடப்பெயர்ச்சி இரு அலைகளிலும் தனித்தனியாக ஏற்படுகின்ற இடப்பெயர்ச்சியின் கூடுதலாகும். இந்த இரு அலைகளும் ஒரே கட்டத்தில் இருப்பதால், இரு அலைகளின் அலை வீச்சுகளும் சமமானால், கூடுதல் இடப்பெயர்ச்சி இரு மடங்காகும். இப் புள்ளிகள் பேரதிர்வுப் புள்ளிகள் எனப்படும். மாறாக, O குறியிட்டுள்ள இடங்களில் ஓர் அலையின் முகடும் மறு அலையின் அகடும் பொருந்துகின்றன. இந்த இடங்களிலுள்ள துகள்களின் இடப்பெயர்ச்சி, இரு அலைகளினால் தனித்தனியாக ஏற்படுகின்ற இடப்பெயர்ச்சியின் கூடுதலாகும். இந்த இரு அலைகளும் எதிர்கட்டத்திலிருப்பதால், இந்த இரு அலைகளின் அலை வீச்சுகளும் சமமாக இருந்தால் கூடுதல் இடப்பெயர்ச்சி சுழி ஆகும். அல்லது இந்த இடங்களிலுள்ள துகள்கள் அலைவில்லாமல் இருக்கும்.

பேரதிர்வுப் புள்ளிகளை இணைக்கின்ற கோடுகள் திரையை $P_1, P_2$ என்ற இடங்களில் குறுக்கிடுகின்றன. ஆகையால், இந்தக் கோடுகளிலுள்ள துகள்கள் இடப்பெயர்ச்சி, அல்லது ஒளிச்செறிவு,

எப்பொழுதும் பெருமமாக இருக்கும். இதனைக் குறுக்கீட்டு ஆக்க விளைவு (constructive interference) என்று கூறலாம். இதேபோல் அதிர்விலாப் புள்ளிகள் அமைகின்ற நேர்கோடுகள் திரையை $Q_1$,$Q_2$ முதலிய இடங்களில் குறுக்கிடும். இந்தக் கோடுகளிலுள்ள துகள் களின் இடப்பெயர்ச்சி சுழியாகும். ஆகையால், ஒளிச்செறிவும் சுழி யாக இருக்கும். இதனை, குறுக்கீட்டு அழித்தல் விளைவு (destructive interference) எனக் கூறலாம். ஆகையால், திரையில் ஒன்றுவிட் டொன்று ஒளி இருள் வரிகள் காணப்படுகின்றன.

**10·4 குறுக்கீட்டு விளைவின் பகுப்பாய்வு (Analytical treatment of interference):** இப்பொழுது மேலே கூறியபடி, திரையில் ஏதாவ தொரு புள்ளியில் ஏற்படும் ஒளிவிளக்கம் காண, கணித முறையில் ஒரு சமன்பாடு அமைக்கலாம். படம் 10·3-ல் $S_1$,$S_2$ என்ற இரு பிளவு களும் S ல் இருந்து சமதூரத்தில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். S என்ற பிளவை λ அலை நீளம்கொண்ட ஒற்றைநிற ஒளியால் ஒளிரச்செய் திருப்பதாகக் கொள்வோம். இதன் விளைவாக S-லிருந்து கிளம்பும் ஒளிஅலை ஒரு குறிப்பிட்ட நேரம் $t$-ல் $S_1$,$S_2$ என்ற இரு பிளவுகளை யும் சமகட்டத்தில், ஹைஜயன் கொள்கைப்படி வந்தடையும். ஆகையால், $S_1$, $S_2$ இரண்டும் தோற்றுவாயாகி ஒளி அலைகளை அனுப்புகின்றன. $S_1$, $S_2$ என்ற இரு பிளவுகளிலிருந்து கிளம்பும் ஒளி அலைகள், ஒரே அலை நீள முடையனவாகவும், ஒரே கட் டத்தை உடையனவாகவும் இருக்கும்.



படம் 10·3

இந்த இரு பிளவுகளிலிருந்து கிளம்பும் ஒளி அலைகளும் திரையில் P என்ற புள்ளியை அடையும்பொழுது P-ல் ஏற்படுகின்ற ஒளிப்பொலிவு, என்ன என்பதைக் காண்போம். P-ல் ஏற்படுகின்ற ஒலிப்பொலிவு இந்த இரு அலைகளும் P-ல் ஏற்படுத்துகின்ற கூடுதல் இடப்பெயர்ச்சியைப் பொருத்துள்ளன. ஓர் இடத்தின் ஒளிப் பொலிவு அந்த இடத்தில் ஏற்படுகின்ற இடப்பெயர்ச்சியின் இரு படி நேர்விதத்திலிருக்கும். ஆகையால், P-ல் ஏற்படுகின்ற இடப் பெயர்ச்சியைக் காண்போம்.

$S_1$லிருந்து பரவுகிற அலையினால் ஏற்படுகின்ற இடப்பெயர்ச்சி $Y_1$ என்றும், $S_2$ லிருந்து பரவுகிற அலையினால் ஏற்படுகின்ற இடப் பெயர்ச்சி $y_2$ என்றும் கொண்டால் அவற்றை முறையே

$$Y_1 = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{S_1P}{\lambda}\right)$$ எனவும்,

$$Y_2 = \sin 2\pi \left(\frac{t}{\lambda} - \frac{S_2 P}{\lambda}\right)$$ எனவும்,

எழுதலாம். ஆகையால் P-ல் ஏற்படுகின்ற கூடுதலிடப்பெயர்ச்சி,

$$Y = Y_1 + Y_2$$ ஆகும்.

$$= a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{S_1 P}{\lambda}\right) + a \sin 2\pi \left(T - \frac{S_2 P}{\lambda}\right)$$

$$= 2a \cos \frac{\pi}{\lambda}(S_2 P - S_1 P) \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{S_1 P + S_2 P}{2\lambda}\right)$$

$S_2 P - S_1 P = \Delta$ எனக் கொண்டால்,

$$Y = 2a \cos \frac{\pi \Delta}{\lambda} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{S_1 P + S_2 P}{2\lambda}\right)$$

என ஆகும். P-ல் இரு அலைகளின் விளைவால் அலைந்துகொண்டிருக்கும் துகளின் இடப்பெயர்ச்சியை,

$$Y = 2a \cos \frac{\pi \Delta}{\lambda} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\frac{S_1 P + S_2}{2}}{\lambda}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad 10{\cdot}1$$

என்ற சமன்பாடு குறிக்கும்.

இதில், $2a \cos \frac{\pi \Delta}{\lambda}$ என்பது அதனுடைய அலைவீச்சு ஆகும்.

இதிலிருந்து அலைவீச்சினுடைய மதிப்பு O-க்கும் 1$a$-க்கும் இடையில் $\Delta$ யைப் பொருத்து மாறிக்கொண்டிருக்கும். ஆனால், $\Delta$ என்பது $S_2$ P-க்கும் $S_1$ P-க்கும் உள்ள பாதை வேறுபாடாகும். இந்தப் பாதை வேறுபாடு, P-யின் நிலையைப் பொருத்துள்ளது. திரையின் வெவ்வேறு புள்ளிகளில் P இருந்தால், இந்தப் பாதை வேறுபாடும் மாறிக்கொண்டிருக்கும்.

$$\frac{\pi \Delta}{\lambda} = n\pi$$ அல்லது,

$\Delta = n\lambda$ என்றுகும் இடங்களில் $S_1$ $S_2$ விலிருந்து பரவும் இரு அலைகளின் அகடுகளும் அல்லது முகடுகளும்

சந்திக்கும். அதாவது, திரையில் ஓர் இடத்தில் இரு அலைகளின் பாதை வேறுபாடு அலைநீளங்களின் முழு எண் பெருக்கல் பலனுக்குச் சமமானால் அந்த இடங்களில் அலைவீச்சு பெருமமாக (2 *a*) இருக்கும். ஆகையால், ஒளிப் பொலிவும் இந்த இடங்களில் பெருமமாக இருக்கும்.

மாறாக, $\frac{\pi \Delta}{\lambda} = (2n + 1)\pi/2$

அல்லது, $\Delta = \frac{(2n + 1)\lambda}{2}$ என்றால், $S_1$ லிருந்து பரவும் அலையின் அகடும் $S_2$ விலிருந்து பரவும் அலையின் முகடும் சந்திக்கும். அதாவது, ஓர் இடத்தில் இரு அலைகளின் பாதை வேறுபாடு அரை அலைநீளங்களின் ஒற்றைப்படை எண் பெருக்கற் பலனுக்குச் சமமானால் அந்த இடத்தில் அலைவீச்சு சுழியாக இருக்கும்; அல்லது அந்த இடம் இருளாக இருக்கும்.

ஆகையால், திரையில் P என்ற புள்ளி $P_0$ லிருந்து நகருகின்ற பொழுது இரு அலைகளுடைய பாதை வேறுபாடும், மாறிக்கொண்டிருக்கும். பாதை வேறுபாட்டைப் பொருத்துத் திரையில் ஒளி வரியோ அல்லது இருள்வரியோ தோன்றும்.

10 5. குறுக்கீட்டு விளைவில் வரி அகலம் (Width of interference fringes). படம் 10·3-ல், $S_1$ $S_2$ என்ற இரு பிளவுகளுக்கிடையில் உள்ள தூரம் *d* எனவும், திரை இரு பிளவுகளின் மையப் புள்ளியிலிருந்து D என்ற தொலைவில் இருப்பதாகவும் கொள்வோம். $P_0$ஐ என்ற புள்ளி திரையில் $S_1$ $S_2$ இவைகளிலிருந்து சமதூரத்தில் இருக்கிறது. $S_1$, $S_2$ விலிருந்து கிளம்புகின்ற அலைகள் $P_0$-ஐ அடைய ஒரே தொலைவு கடப்பதால், எப்பொழுதும் சம கட்டத்திலேயே அடைகின்றன. இந்த இரு அலைகளுக்கிடையிலுள்ள பாதை வேறுபாடு சுழியாதலால் $P_0$-ல் ஒளிவரி தோன்றும். இந்த வரி நடு வரி ஆகும். P என்ற புள்ளி $P_0$ லிருந்து *x* தொலைவிலிருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்தப் புள்ளியை அடையும் அலைகளின் பாதை வேறுபாடு,

$S_2 P - S_1 P$ ஆகும்.

படம் 10·3-ல்

$S_1 P^2 = D^2 + (x - d/_2)^2$ மற்றும்

$S_2 P^2 = D^2 + (x + d/_2)^2$ ஆகவும் ஆகின்றன.

$$S_2 P^2 - S_1 P^2 = (x + d/_2)^2 - (x - d/_2)^2$$
$$= 4\,x\,d/_2$$
$$= 2\,x\,d \text{ ஆகும்.}$$

அல்லது $(S_2 P + S_1 P)\ (S_2 P - S_1 P) = 2\, xd$ ஆகும்.

$(S_2 P + S_1 P)$ என்பதைக் கிட்டத்தட்ட 2D-க்குச் சமமாகக் கொள்ளலாம். ஆகையால்,

$$(S_2P - S_1P) = \frac{2\, x\, d}{2D} = \frac{x\, d}{D}$$

P-ல் இரு அலைகளின் பாதை வேறுபாடு

$$= \frac{x\, d}{D} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \qquad 10{\cdot}2$$

இது $n\,\lambda$-க்குச் சமமானால் P ஓர் ஒளிவரியாக இருக்கும். இதற்கு அடுத்த ஒளிவரி $P_0$ விலிருந்து $x_1$ தொலைவிலிருந்தால், அந்த இடத்தின் பாதை வேறுபாடு,

$\frac{x_1\, d}{D}$ ஆகும். இது $(n + 1)\,\lambda$க்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும்.

ஆகையால், $P_0$-ல் இருந்து $x$ தொலைவில் ஓர் ஒளிவரியும் $x_1$ தொலைவில் அதற்கு அடுத்து ஒளிவரியும் இருக்கும். ஆகையால், இரு ஒளிவரிகளுக்கிடையிலுள்ள தூரம் $(x_1 - x)$ ஆகும். ஆனால், $\frac{xd}{D} = n\lambda$ மற்றும்

$$\frac{x_1\, d}{D} = (n + 1\ \lambda) \text{ என்ற}$$

இரு சமன்பாட்டிருலிந்து $x = \frac{D\lambda}{d}\, n$ என்றும்

$$x_1 = \frac{D\lambda}{d}(n + 1) \text{ என்றுமாகும்.}$$

ஆகையால்,

$$(x_1 - x) = \frac{D\lambda}{d} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \qquad 10{\cdot}3$$

ஒரு குறிப்பிட்ட குறுக்கீட்டு விளைவு அமைப்பில் D, $\lambda$, $d$ இவைகள் எல்லா ஒளிவரிகளுக்கும் பொதுவாக இருப்பதால் எந்த இரு அடுத்துள்ள ஒளிவரிகளுக்கிடையிலுள்ள இடைவெளியும் ஒரே அளவுள்ளதாக இருக்கும்.

இதேபோல் $P_0$ விலிருந்து Y தொலைவில் ஒரு இருள்வரி ஏற்பட $\frac{Yd}{D} = (2n + 1)\,\lambda/_2$ ஆகவும்

அதற்கு அடுத்த இருள்வரி ஏற்பட

$$\frac{Yd}{D} = (2n+1)\lambda_2 \text{ ஆகவும்}$$

அதற்கு அடுத்த இருள்வரி ஏற்பட

$$\frac{Y_1 d}{D} = (2n+3)\lambda/_2 \text{ ஆகவும் இருக்கவேண்டும்.}$$

அல்லது அடுத்தடுத்த இரு இருள்வரிகளுக்கிடையே உள்ள தூரம்,

$$Y_1 - Y = \frac{D\lambda}{d}\left\{\frac{2n+3}{2} - \frac{2n+1}{2}\right\}$$

$$= \frac{D}{d} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 10{\cdot}4$$

இங்கும் D, λ மற்றும் $d$ இவைகள் எல்லா இருள்வரிகளுக்கும் பொதுவானதால், எந்த இரு அடுத்தடுத்துள்ள இருள் வரிகளுக்கிடையிலுள்ள இடைவெளியும் ஒன்ருக இருக்கும்.

மேலும் இரு ஒளி வரிகளுக்கிடையிலுள்ள தூரமும் இரு இருள் வரிகளுக்கிடையிலுள்ள தூரமும் சமம் என்று ஆகின்றது.

ஆகையால் வரி அகலத்தை $\beta$ என்று எழுதினல்,

$$\beta = \frac{D\lambda}{d} \text{ என ஆகிறது.} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 10{\cdot}5$$

திருத்தமாக வரியிடையைக் காணவேண்டின் $\beta$ சற்றுக் கூடுதலாக இருக்கவேண்டும். இதனை எந்தவொரு குறிப்பிட்ட நிற அலை நீளத்திற்கும் D-ஐ அதிகப்படுத்தியும் $d$-ஐக் குறைத்தும் பெறலாம். எனவே, எந்தவொரு நிற ஒளியைக் கொண்டும் திருத்தமாக வரியிடையைக் காண இரு ஓரியல் ஒலி மூலங்களின் இடையிலுள்ள தொலைவு குறைந்தும், ஒளி மூலங்களுக்கும் திரைக்குமுள்ள இடைத் தூரம் மிகுந்தும் இருக்கவேண்டும்.

10·6. குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படுவதற்கான நிபந்தனைகள்: இரு அலைகள் ஒரு புள்ளியில்மேற் பொருந்தும்பொழுது அங்கு ஏற்படுகின்ற கூடுதலிடப்பெயர்ச்சி சமன்பாடு 10·1-ன்படி,

$$Y = 2a\cos\frac{\pi\Delta}{\lambda}\sin 2\pi$$

$$\left\{\frac{t}{T} - \frac{(S_1P + S_2P)/_2}{\lambda}\right\} \text{ எனப் பார்த்தோம்.}$$

அல்லது இங்கு ஏற்படுகின்ற துகள் அலையின் அலைவீச்சு $2a\cos\frac{\pi\Delta}{\lambda}$ ஆகும். $\Delta$ என்பது இரு அலைகளுக்கிடையிலுள்ள பாதை

வேறுபாடு இதனுல் $\Delta = n\lambda$ என்று ஆகின்ற இடங்களிலெல்லாம்

$$2a \cos \frac{\pi\Delta}{\lambda} \text{ என்பது } 2a \cos \frac{\pi n\lambda}{\lambda}$$

என ஆகும். அல்லது அலைவீச்சினளவு $2a$ ஆக ஆகும். ஆகையால், அந்த இடத்தில் இடப்பெயர்ச்சி $2a$-யிலிருந்து $2$-$a$க்கு, ஒரு விஞடிக்கு ஒளியின் அதிர்வெண்முறை (frequency) மாறிக்கொண்டிருக்கும். அல்லது அந்த இடத்தின் ஒளிப்பொலிவு O-விலிருந்து $4a^2$-க்கு ஒளி அதிர்வெண்ணின் இரு மடங்கு முறை மாறிக் கொண்டிருக்கும். ஆகையால், அந்த இடத்தில் ஒளிப்பொலிவு இதன் சராசரியாக இருக்கும். கண்ணினுடைய பார்வை நீடிப்பு (persistance of vision) சக்தியால் இது தொடர்ந்து இருப்பது போல் தோன்றும். ஆகவே, இந்த இடம் எப்பொழுதும் ஒளி மிகுந்து தோன்றும்.

இதேபோல் Q என்ற மற்ருெரு புள்ளியின் இரு அலைகளின் பாதை வேறுபாடு

$$\Delta = (2n+1)\ \frac{\lambda}{2} \text{ ஆனுல் அந்த இடத்தில் இடப்பெயர்ச்சி}$$

சுழி ஆக இருக்கும். ஆகையால், அந்த புள்ளி எப்பொழுதும் இருளாகத் தோன்றும்.

படம் 10·3-ல் $S_1\ S_2$ என்ற இரு ஒளி மூலங்களும் $\lambda_1, \lambda_2$ என்ற வெவ்வேறு அலைநீளங்களும் $v_1, v_2$ என்ற வெவ்வேறு அதிர்வெண்களையும் கொண்ட இரு அலைகளைப் பரப்புவதாகக் கொள்வோம். இந்த இரு அலைகளும் P என்ற இடத்தின் மேற்பொருந்தினுல் அந்த இடத்திலேற்படுகின்ற இடப்பெயர்ச்சி

$$y = a \sin 2\pi\left(\frac{t}{T_1} - \frac{x_1}{\lambda_1}\right) + a \sin 2\pi\left(\frac{t}{T_2} - \frac{x}{\lambda_2}\right)$$

$$= 2a \cos \pi\left[\left( t\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) + \left(\frac{x_2}{\lambda_2} - \frac{x_1}{\lambda_1}\right)\right]\right.$$

$$\sin \pi\left[ t\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) - \left(\frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2}\right)\right]$$

என்று எழுதலாம்.

இதில் அலைவீச்சுப் பகுதியான

$$2a \cos \pi \left[ t\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) + \left(\frac{x_2}{\lambda_2} - \frac{x_1}{\lambda_1}\right)\right] \quad \dots \quad \dots \quad 10\ 6$$

எந்த நேரத்திலும் எந்த இடத்திலும் சுழியாக ஆகாது. ஆகையால், எல்லா இடமும் ஒரு சராசரி ஒளிப்பொலிவுடன் தோன்றும். எந்த

இடத்திலும் இருளாக இராது. ஆகையால், திரையில் நிலையான ஒளி இருள்வரிகளைக் காணமுடியாது.

இதேபோல் இரு அலைகளுக்கிடையேயுள்ள கட்ட வேறுபாடு சுழியாகவோ அல்லது எப்பொழுதும் ஒரு நிலையாகவோ இல்லாவிடினும் திரையில் நிலையான குறுக்கீட்டுப்பாங்கம் தோன்றுது என்று காட்டலாம். ஆகையால், நிலையான குறுக்கீட்டுப்பாங்கம் ஏற்படுவதற்கு, ஒரே அலை நீளத்தையும், ஒரே கட்டத்தையும் அல்லது ஒரே நிலையான கட்ட வேறுபாட்டையும் கொண்ட ஒளி அலைகளைத் தோற்றுவிக்கின்ற இரு மூலங்கள் இருக்கவேண்டும். இத்தகைய இரு ஒளி மூலங்கள் (coherent sources) ஓரியல் மூலங்களெனப்படும். மேலும் தெளிவான ஒளி இருள் வரி அமைப்பு ஏற்படுவதற்கு இரு அலைகளின் அலைவீச்சுகளும் சமமாகவோ அல்லது கிட்டத்தட்ட சமமாகவோ இருக்கவேண்டும்.

தனித்தனியான எந்த இரு ஒளி மூலங்களும் அவை ஒரே அலை நீள ஒளியை வெளியிட்டாலும் ஓரியல் ஒளிமூலங்களாகா. இந்த மூலங்களிலிருந்து வரும் அலைகளின் கட்ட வேறுபாடு நிலையாக இல்லாமல் மாறிக்கொண்டிருக்கும். ஆகையால் எவ்வாறு இத்தகைய ஓரியல் ஒளிமூலங்கள் ஏற்படுத்த முடியுமென்பதைப் பின்வரும் 10·8 பகுதியில் காண்போம்.

## 10·7. குறுக்கீட்டு விளைவுப்பாங்கம் ஏற்படுத்தும் முறைகள் (Classification of interference phenomenon):

குறுக்கீட்டு விளைவுப்பாங்கம் ஏற்படுத்துகின்ற முறையைப் பொதுவாக இரு வகையாகப் பிரிக்கலாம்.

### (அ) அலைமுகப்பைப் பிரித்தல் (Division of wave fronts):

இந்த முறையில் படு அலை முகப்பை எதிரொளிப்பு அல்லது ஒளிவிலகல் இவற்றின்மூலம் தனித்தனி ஒளிப் பாதையில் செல்லுமாறு இரு பாகங்களாகப் பிரித்து அவற்றை மீண்டும் ஒன்றிணையச் செய்து குறுக்கீட்டு விளைவைத் தோற்றுவித்தலாகும். இந்த முறையில் ஒளிமூலம் ஒரு புள்ளி உருவிலோ அல்லது ஒரு கோடு உருவிலோ இருப்பது அவசியம். இரட்டைப் பட்டகம், ஈராடி, லாயட்ஸ் ஆடி முதலியவைகள் இந்த முறையைக் கொண்டு குறுக்கீட்டு விளைவுப்பாங்கம் ஏற்படுத்தும்.

### (ஆ) அலைவீச்சைப் பிரித்தல் (Division of amplitude):

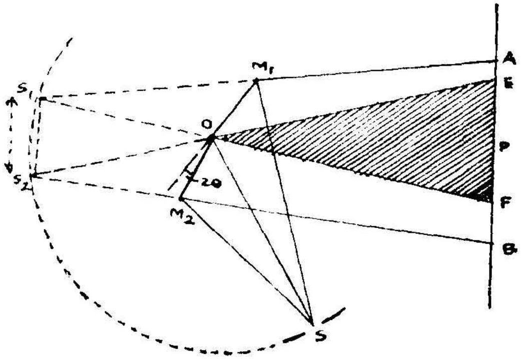
இந்த முறையில் படு ஒளி அலையின் அலைவீச்சை எதிரொளிப்பு மூலமோ அல்லது ஒளிவிலகல் மூலமோ இரண்டு அல்லது இரண்டிற்கு மேற்பட்ட பாகங்களாகப் பிரித்து இதனால் ஏற்படுகின்ற இரு ஒளிக்கற்றைகளைக் கொண்டு குறுக்கீட்டு விளைவுப் பாங்கம் ஏற்படுத்தப்படுகிறது. இந்த முறையில் ஒளிமூலம் புள்ளி

யாகவோ கோடாகவோ இருக்கத் தேவையில்லை. அகலமான மூலங்களையும் பயன்படுத்தலாம். இதனால் பொலிவுள்ள வரிகள் கிடைக்கும். நியூட்டன் வளையங்கள், மென் படலங்களில் ஏற்படும் நிற மாற்றங்கள் முதலியன இந்த முறையில் தோன்றும் குறுக்கீட்டு விளைவு ஆகும்.

இந்த முறையில் படு ஒளிக்கற்றையைப் பிரிதளத்தில் விழச்செய்தால் ஒரு பகுதி எதிரொளிக்கும்; ஒரு பகுதி ஊடகத்தில் கடந்து செல்லும் இந்த இரு பிரிவுகளும், பின்னர் ஒன்றாக இணையும்பொழுது குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படும். இதில் எதிரொளிப்புப் பகுதி ஒளிக்கற்றையும் ஊடகத்தினுள் கடந்து செல்லும் ஒளிக்கற்றையும் எல்லா விதத்திலும் ஒன்றை ஒன்று ஒத்திருக்கும். ஆகையால், இந்த இரு கற்றையையும் இணையச் செய்தால் குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படும். 10 8 குறுக்கீட்டு விளைவு வரிகள் ஏற்படுத்துதல்.

(1) ஃப்ரெநெல் ஈராடி முறை (Fresnel' simirror):

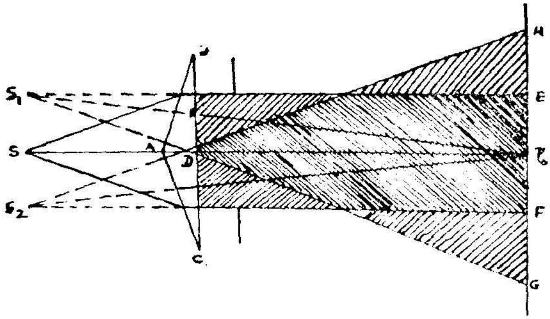
இந்த முறையில் ஒரே ஒளி மூலத்திலிருந்து எதிரொளிப்புமூலம் இரு ஓரியல் ஒளி மூலங்கள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. ஓர் ஒளி மூலத்திலிருந்து இரு ஒளியியல் மூலங்கள் ஏற்படும் விதத்தைப் படம்




படம் 10·4

10·4 விளக்குகின்றது. $OM_1$, $OM_2$ என்ற இரு சமதள (படம் 10·4) ஆடிகள் ஒன்றுக்கொன்று ($\theta°$) மிகச் சிறிய அளவு குறுங்கோணம் ஏற்படுமாறு இணைக்கப்பட்டு, S என்ற ஒற்றை நிற ஒளியால் ஒளியூட்டப்பட்டுள்ள ஒரு சிறு பிளவிற்கு எதிரில் செங்குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. S என்ற சிறு பிளவிலிருந்து விரிந்து பரவுகின்ற ஒளி $OM_1$, $OM_2$ என்ற ஆடிகளால் எதிரொளிக்கப்பட்டு, $S_1$, $S_2$ என்ற இரு தோற்ற பிம்பங்களிலிருந்து விரிவதாகத் தோன்றும். இந்த $S_1S_2$ இரண்டும் ஓரியல் மூலங்களாகச் செயல்படும்.

(2) ஃப்ரநெல் இரட்டைப் பட்டக முறை (Fresnel's bi-prism method): ABC என்ற ஓர் இரட்டைப் பட்டகம் இரு குறுகிய ஒளி விலகு கோணங்களாலான முப்பட்டகங்களை அடிப்பாகம் ஒன்றுடனொன்று பொருந்துமாறு இணைக்கப்பட்டதாகும் (படம் 10·5). இந்தஇரட்டை முப்பட்டகத்தின் விரிகோணம் கிட்டத்தட்ட 180°ம்,




படம் 10·5

மற்ற இரு கோணங்களும் 1°க்கும் குறைவாகவும் கொண்டிருக்கும். S என்ற ஒரு குறுகிய சிறு பிளவு ஒரு ஒற்றை நிற ஒளியால் ஒளியூட்டப்பட்டுள்ளது. இரட்டைப் பட்டகத்தின் விரிகோண முனை S என்ற பிளவிற்கு இணையாகச் செங்குத்தாக நிறுத்தப் பட்டுள்ளது. S-லிருந்து வருகின்ற ஒளி BAD என்று முப்பட்டகத்தைக் கடந்தவுடன், $S_1$ என்ற மூலத்திலிருந்து பரவுவதாகத் தோன்றும். இதேபோல் CAD என்ற முப்பட்டகத்தில் விழும் ஒளி $S_2$-விலிருந்து பரவுவதாகத் தோன்றும். ஆகையால் $S_1$ $S_2$ என்ற இரு மாய மூலங்களும் S என்று மூலத்திலிருந்து பெறப்பட்டனவாகும். இந்த $S_1$ $S_2$ இரண்டு மாய மூலங்களும் ஓரியல் மூலங்களும் செயல் பட்டுத் திரையில் குறுக்கீட்டு வரிகளைத் தோற்றுவிக்கும்.

படம் 10·5-ல் BAC என்ற கோணம் $(180 - \theta)$ எனவும், SA $= x$ எனவும் கொள்வோம். BAD என்ற முப்பட்டகத்தில் $\angle B = \theta/2$ என ஆகும். CAD என்ற முப்பட்டகத்தில் $\angle C = \theta/2$ எனவுமாகும்.

ஒளி இத்தகைய முப்பட்டகங்களை ஊடுருவும்பொழுது ஏற்படுகின்ற திசை மாற்றுக் கோணம்

$$= (\mu - 1)\ \theta/2 \text{ ஆகும்.}$$

$\mu$ முப்பட்டகத்தின் ஒளிவிலகெண். ஆகையால் S-லிருந்து கிளம்பி BAD, CAD என்ற இரு முப்பட்டகங்களிலும் BA-க்கு

அருகில் படுகின்ற ஒளியினுடைய திசைமாற்றுக் கோணங்கள் ஒவ்வொன்றும் $(\mu - 1)\ \theta_{2}$ க்குச் சமம்.

அல்லது $SAS_1 = SAS_2\ (\mu - 1) = \theta/_2$

ஆகையால் $S_1\ A\ S_2 = (\mu - 1)\,\theta$

$S_1\ S_2$ என்ற மூலங்கள் பட்டகத்திலிருந்து $x$ தொலைவில் இருப்பதாகக் கொண்டால் $S_1\ S_2 = x\,(\mu - 1)\,\theta$ என ஆகும். இரட்டைப் பட்டகத்திலிருந்து திரை Y தொலைவிலிருப்பதாகக் கொண்டால் $(x + Y) = D$ ஆகும்.

$$S_1\ S_2 = d = (\mu - 1)\,x\,\theta \text{ ஆகும்.} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad 10{\cdot}6a$$

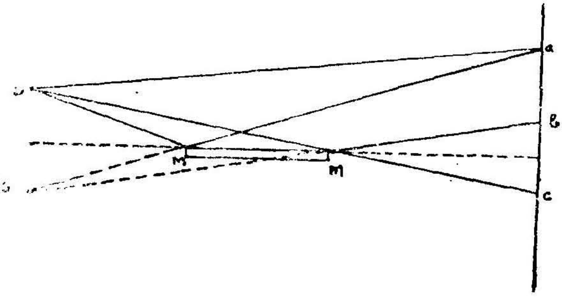
ஆகையால், d குறைவாக இருக்க $\theta$ குறைவாகவும், இரட்டைப் பட்டகத்தின் விரி கோணம் 180° க்கு நெருக்கமாகவும் இருக்கவேண்டும். வரி அகல சமன்பாடு 10·3-ன்படி, வரி அகலம்,

$$\beta = \frac{D\lambda}{d} \text{ ஆகும்.}$$

$$= \frac{(x + Y)\,\lambda}{(\mu - 1)\,x.\theta} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad 10{\cdot}7$$

இதில் $\theta$ வின் மதிப்பு ரேடியன் அளவிலுள்ளது.

3. லாயிட்ஸ் ஒற்றை ஆடி (Lloyd's single mirror) முறை: இந்த முறையில் எவ்வாறு குறுக்கீட்டுப்பாங்கம் ஏற்படுகின்றன என்பதைக் காண்போம்.




படம் 10·6

படம் 10·6-ல் S என்பது ஓர் ஒளியூட்டப்பட்ட செங்குத்துச் சிறு பிளவு. MM என்ற ஒரு சமதள ஆடியை S-லிருந்து வரும் ஒரு படுகதிர் இந்த ஆடியில் தவழ்நிலையில் படுமாறு செங்குத்தாக நிறுத்தப்பட்டுள்ளது. S-லிருந்து கிளம்பி MM என்ற ஆடியால் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளி $S_1$ என்ற மாய மூலத்திலிருந்து பரவுவதாகத்

தோன்றும். இப்பொழுது S-லிருந்து பரவுகின்ற ஒளியும் $S_1$-லிருந்து பரவுவதாகத் தோன்றுகின்ற எதிரொளிப்பு ஒளியும், திரையில் *ab* என்ற பகுதியில் குறுக்கீட்டுப்பாங்கம் ஏற்படுத்தும். ஆகையால், திரையில் *ab* பகுதியில் ஒளி இருள் வரிகள் தோன்றும். இந்த வரி அமைப்பின் மைய வரி $S S_1$ இவற்றிலிருந்து சமதூரத்திலுள்ள C-ல் இருக்கும். ஆனால், எதிரொளிப்பு ஒளி இந்தப் பகுதியை அடைய முடியாதாகையால் இந்த மைய வரியைக் காணமுடியாது. ஆனால், ஒரு மைகா மென்படலத்தை S-லிருந்து வருகின்ற ஒளிப்பாதையில் நுழைப்பதன்மூலம் இந்த மைய வரியை மேல்நோக்கி நகர்த்திப் பார்வைப் புலனுக்குக் கொண்டுவரலாம். இவ்வாறு செய்து பார்த்தால், மையவரி இருள்வரியாக இருக்கும். இதற்குக் காரணம் பாதை வேறுபாடுகளால் ஏற்படுகின்ற கட்ட வேறுபாடுமட்டுமன்றி, எதிரொளிப்பு அடர்மிகு ஊடகப் பரப்பில் ஏற்படுவதால், எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளி மேலும் $\pi$ அளவு கூடுதலான கட்ட வேறுபாடு கொண்டிருக்கும்.[1]

படம் 10·6-லிருந்து இரு ஒளி மூலங்களுக்கிடையிலுள்ள தூரம் $d$ என்றும் ஒளி மூலங்களுக்கும் திரைக்குமுள்ள தூரம் D என்றும், S-லிருந்து வெளிவரும் ஒளியின் அலைநீளம் $\lambda$ என்றும் கொண்டால் திரையில் ஏற்படுகின்ற குறுக்கீட்டு விளைவு வரிகளின்

$$\text{வரி அகலம்} = \beta = \frac{D\lambda}{d} \text{ என்று ஆகும்.}$$

லாயட்ஸ் ஆடி முறையில், நேரொளியாலும், எதிரொளிப்பு ஒளியாலும் குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படுகிறது. எதிரொளிப்பு ஒளி அலைகளின் கட்டம் நேர்ஒளி அலைகளின் கட்டத்திலிருந்து $\pi$ அளவு வேறுபட்டிருக்கும். இந்தக் கட்ட மாறுபாட்டையும் பாதைநீள வேறுபாட்டினால் ஏற்படுகின்ற கட்ட வேறுபாட்டையும் சேர்த்துத் தான் திரையில் ஒளி இருள் வரிகள் ஏற்படுவதற்கான நிபந்தனைகளைக் கூற வேண்டும்.

மேலும், லாயட்ஸ் ஆடி முறையில் ஏற்படும் குறுக்கீட்டுப் பாங்கமும், இரட்டைப் பட்டகத்தினால் ஏற்பட்ட குறுக்கீட்டுப் பாங்கமும் ஒன்றுக்கொன்று சிறிது வேறுபட்டிருக்கும்.

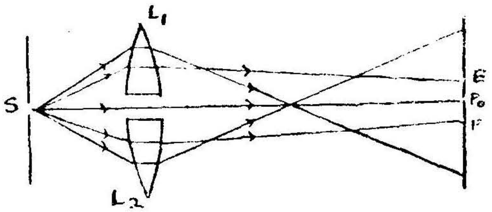
இரட்டைப் பட்டகத்தினால் ஏற்படுகின்ற ஒளி-இருள் வரிகள் மையவரிக்கு இருபுறமும் அமைந்திருக்கும். ஆனால், லாயட்ஸ் ஆடியால் ஏற்படுகின்ற வரிகள் பார்வைப் புலனின் ஒரு பாதிக்குக் குறைவாகத்தான் அமைந்திருக்கும்.

---

[1] இந்தக் கூற்றுக்கான விளக்கங்களைப் பின்பொரு பகுதியில் காண்போம்.

ஓர் ஒற்றை நிற ஒளியால் ஏற்படுகின்ற குறுக்கீட்டு விளைவுப் பாங்கத்தின் மையவரி, இரட்டைப் பட்டகத்தில் ஒளிவரியாகவும் லாயட்ஸ் ஆடியில் இருள் வரியாகவும் இருக்கும். மேலும், லாயட்ஸ் ஆடியால் ஏற்படும் பாங்கத்தின் மைய வரியைப் பொதுவாகக் காண முடியாது.

4. பில்லட் பிளவு வில்லை முறை : (Billet's split lens method): இந்த முறையில் ஒரு குவிவில்லை இரு பிரிவுகளாகப் பிளக்கப்பட்டுள்ளது.



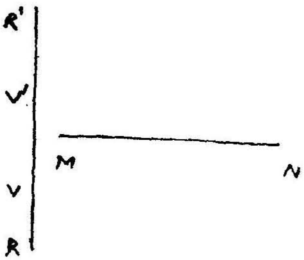

படம் 10·7

$L_1$ $L_2$ என்ற ஒரு குவிவில்லையின் இரு பிளவு வில்லைகள் மைக்ரா மீட்டரைக்கொண்டு தேவையான அளவு பிரித்து வைக்கப் பட்டுள்ளன. (படம் 10·7). S என்ற ஒரு நிற ஒளி மூலத்திலிருந்து வருகின்ற ஒளியை, இந்த இரு வில்லைப்பகுதியின் வழி பாயச் செய்தால், $S_1$, $S_2$ என்ற S-ன் இரு உண்மைப் பிம்பங்களையும் ஒரியல் மூலங்களாகக்கொண்டு, திரையில் EF பகுதியில் குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் தோன்றும். ஆகையால் திரையில் E-க்கும் F-க்கும் இடையில் ஒளி, இருள் வரிகள் காணப்படும்.

10·9. நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய வரிகள் : (Achromatic fringes). இதுவரை குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படுவதற்காக நாம் கண்ட முறைகளில் வரி அகலம் ஒளியின் அலை நீளத்தைப் பொருத்தது என்று கண்டோம். சமன்பாடு 10·5-ன்படி $\beta = \frac{D\lambda}{d}$ எனவே, வெள்ளை நிற ஒளியைப் பயன்படுத்தினால், ஒரு நிற ஒளி வரிகளுக்குப் பதில் பல நிற ஒளி வரிகள் தோன்றும். ஒளி வரியின் அகலம் ஒளியின் அலை நீளத்தைப் பொருத்திருப்பதால், சிவப்பு ஒளி வரி, நீல ஒளி வரியைவிட அகலமாக இருக்கும். ஆகையால், தோன்றுகின்ற ஒரு நிற ஒளி வரி மற்றதன்மேல் பரவும். ஆனால், மையவரி நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கியதாக இருக்கும். மேலும் இருள் வரி முழு இருளாக இருக்காது. லார்ட் ராலே என்பவர் லாயட்ஸ் ஆடியைக் கொண்டு நிறப்பிறழ்ச்சியற்ற வரிகள் ஏற்படுத்துவதற்கான முறையை விளக்கியுள்ளார்.

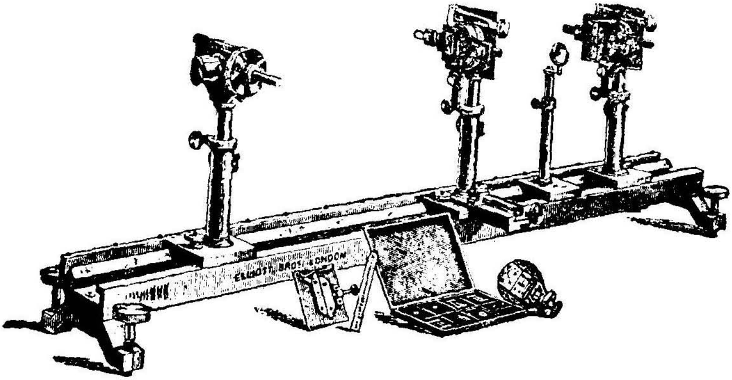
வரி அகலம் $\beta = \frac{D\lambda}{d}$

இதில் எல்லா நிற ஒளியும் ஒரே வரி அகலம் கொண்டிருக்க எல்லா நிறங்களுக்குமான $\frac{\lambda}{d}$ ஒரே மதிப்புள்ளதாக இருக்கவேண்டும். இதற்கு ஒரு கீற்றணியின் (gratting) மூலம் கிடைக்கின்ற நிற மாலையை லாயட்ஸ் ஆடி முறையில், மூலமாகப் பயன்படுத்தினால் எதிரொளிப்புமூலம் கிடைக்கின்ற மாய மூலத்தில் நிறங்களின் அமைப்பு படத்தில் காட்டியபடி (படம் 10·8) தலை கீழாக மாறி இருக்கும். ஆகையால் RR' க்கு இடையிலுள்ள தூரம் VV' க்கு இடையிலுள்ள தூரத்தை விட அதிகமாக இருப்பதைக் காணலாம். எனவே, $\frac{\lambda R}{RR_1} = \frac{\lambda V}{VV_1}$ ஆகையால், பார்வைப் புலனில் தோன்றுகின்ற குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கி இருக்கும்.




படம் 10·8

10·10. **இரட்டைப் பட்டகத்தைக்கொண்டு ஒளியின் அலை நீளத்தைக் காணல்:** ஃபரநெல் இரட்டைப் பட்டகத்தை உபயோகித்து ஓர் ஒளிமூலத்திலிருந்து வருகின்ற ஒளியின் அலை நீளத்தைக் கணிக்கமுடியும்.



படம் 10·9

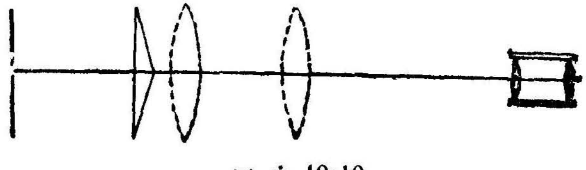
ஒரு சிறு செங்குத்துப் பிளவை ஓர் ஒளி மூலத்தின் அருகில் வைத்து ஒளிரச் செய்யவேண்டும். இரட்டைப் பட்டகத்தின் ஒளி விலகல் முனைகளைப் பிளவுக்கு இணையாக நிறுத்தவேண்டும். இவைகளை ஓர் ஒளியியல் அளவுச் சட்டத் (optic bench) படம் 10·9-தின்மேல் அமைக்கவும். அந்த ஒளியில் அளவுச் சட்டத்தி

லேயே, ஒரு மைக்ராமீட்டருடன் இணைந்த கண்ணருகுக் கருவியை (eye piece) பொருத்தவேண்டும். ஒளியூட்டப்பட்ட பிளவு, இரட்டைப் பட்டகத்தின் ஒளி விலக்க முனை, கண்ணருகுக் கருவி இவை அனைத்தும் ஒரே நேர்கோட்டிலும் ஒரே உயரத்திலும் இருக்க வேண்டும். இப்பொழுது இரட்டைப் பட்டகத்தால் ஏற்படுகின்ற குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் கண்ணருகுக் கருவியின் பார்வைப் புலனில் விழுமாறு அமைத்துக்கொள்ளவேண்டும். இப்பொழுது கண்ணருகுக் கருவியினுடைய குறுக்கிணைக் கம்பியின் செங்குத்துக் கம்பியை ஒளி வரிகளில் பொருந்துமாறு செய்து மைக்ராமீட்டர் அளவுகளைக் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள அட்டவணையில் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும்.

| வரி எண் | நுண்மானி காட்டும் அளவு | 5 வரிகளின் அகலம் |
|---|---|---|
| $x$ | | |
| $x+5$ | | |
| $x+10$ | | |
| $x+15$ | | |

இவற்றிலிருந்து சராசரியாக ஓர் ஒளி வரியின் அகலத்தைக் காண முடியும். அது $\beta$ எனக் கொள்வோம்.

இரு ஓரியல் மூலங்களுக்கு இடையிலுள்ள தூரத்தைக் காண்பதற்கு ஒரு (குறைந்த குவியதூரத்தை உடைய) குவிவில்லையை இரட்டைப் பட்டகத்திற்கும் கண்ணருகுக் கருவிக்கும் இடையில், கண்ணருகுக் கருவியின் பார்வைப் புலனில் இரு ஓரியல் மூலங்களின் பிம்பங்களும் விழுமாறு பொருத்தவேண்டும் (படம் 10·10). சிறு பிளவிற்கும் கண்ணருகுக் கருவிக்கும் இடையிலுள்ள தூரம் குவிவில்லையின் 4 $f$-ஐ விடக் கூடுதலாக இருக்கவேண்டும்.



படம் 10·10

இப்பொழுது இரு பிம்பங்களின் இடையிலுள்ள தூரத்தை மைக்ராமீட்டரைக் கொண்டு அளக்கவேண்டும். அவற்றின் இடையிலுள்ள தூரம் $d_1$ எனவும் ஒளிமூலங்களுக்கும் வில்லைக்கும் இடையிலுள்ள தூரம் $u$ எனவும் வில்லைக்கும கண்ணருகுக் கருவிக்கும் இடையிலுள்ள தூரம் $v$ எனவும் கொண்டால், மாய ஓரியல் மூலங்களுக்கிடையிலுள்ள தூரம் $d$ ஆனால்,

$$\frac{d_1}{d} = v/u \text{ என ஆகும்.}$$

$$d = d_1 \frac{u}{v} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 10{\cdot}8$$

பின்னர்க் கண்ணருகுக் கருவிக்கருகில் வில்லையை அதன் முன் நிலையின் பரிமாற்று நிலை இடத்திற்கு நகர்த்தினால் பார்வைப் புலனில் மீண்டும் ஒளி மூலங்களின் பிம்பம் தோன்றும். இந்த நிலையில் இரு ஒளி மூலங்களின் பிம்பங்களுக் கிடையிலுள்ள தூரம் $d_2$ ஆனால்,

$$\frac{d_2}{d} = \frac{u}{v} \text{ ஆகும்.}$$

அல்லது $$d = d_2 \frac{v}{u} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 10{\cdot}9$$

ஆகையால் சமன்பாடு (10·8, 10·9) இவைகளை இணைத்தால்,

$$d^2 = d_1 d_2$$

அல்லது $$d = \sqrt{d_1 d_2}$$

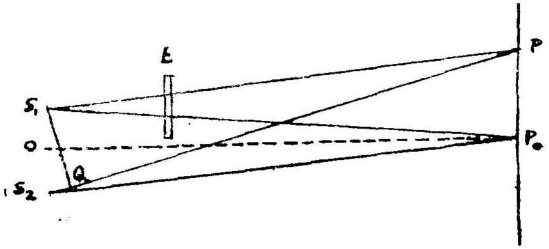
இதிலிருந்து $d$ ன் மதிப்பைக் காணலாம். ஒளி மூலத்திற்கும் கண்ணருகுக் கருவிக்கும் இடையிலுள்ள தூரம் D எனக் கொண்டால் $\beta = \frac{D\lambda}{d}$

அல்லது அலைநீளம் $\lambda = \frac{d.\beta}{D}$

இதில் $d$, $\beta$, D எல்லாம் அளக்கப்பட்டிருப்பதால் இவற்றைக் கொண்டு $\lambda$ வைக் கணக்கிடலாம்.

10·11. குறுக்கீட்டு விளைவு வரிகளின் இடப்பெயர்ச்சி : பொதுவாக, குறுக்கீட்டு விளைவு வரிகளின் மையவரி, ஓரியல் மூலங்களிலிருந்து ஒரே நேரத்தில் திரையை அடையக்கூடிய இடத்தில் அமைந்திருக்கும். ஒரே கனமுள்ள ஒரு மெல்லிய கண்ணாடி அல்லது மைகா தட்டைக் குறுக்கிடுகின்ற இரு ஒளிக்கற்றைகளின் ஒன்றின் பாதையில் நுழைத்தால், அந்தக் கற்றையின் ஒளிப்பாதையின் அளவு மென்தட்டைக் கடக்கும் பொழுது வேறுபடும். ஆகையால், இந்த ஒளிக் கற்றை, முதலில் மையவரி அமைந்திருந்த இடத்தை அடைய எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் மற்றக் கற்றை எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்திலிருந்து மாறுபடும். ஆகையால், திரையில் இரு ஒளிக் கற்றைகளும் ஒரே நேரத்தில் திரையை அடையக்கூடிய இடம் மாறுபடும். அல்லது மையவரி இடம் பெயரும்.

முதலில் $S_1$ $S_2$ என்ற இரு ஓரியல் ஒளி மூலங்களிலிருந்து திரையில் P என்ற இடத்தில் மைய வரி விழுவதாகக் கொள்வோம். (படம் 10·11). இப்பொழுது $S_1$-லிருந்து திரையை அடையும் ஒளிக் கற்றையின் பாதையில் $\mu$ விலகெண்ணுடைய, $t$ கனமுடைய ஓர் ஒளிபுகு மென் தட்டை நுழைப்பதாகக் கொள்வோம்.




படம் 10·11

இதனால் $P_0$வி லிருந்த மையவரி இடம் மாறியிருக்கும். இப்பொழுது P-ல் $n$ எண்ணுடைய ஓர் ஒளிவரி இருப்பதாகக் கொண்டால்,

$S_2$ P க்கும் $S_1$ P க்குமுள்ள பாதை வேறுபாடு $n\lambda$ விற்குச் சமமாகும். இந்தப் பாதை வேறுபாடு

$$= S_2P - \{(S_1P - t) + t\mu\}$$
$$= (S_2Q + QP) - \{(S_1P - t) + \mu t\}$$
$$= S_2Q - (\mu - 1)t$$
$$(\because \quad S_1P = QP) \quad \ldots \quad \ldots \quad 10{\cdot}10$$

ஆகையால், $PP_0 = x_n$ என்றும், $OP_0 = D$ என்றும் $S_1 S_2 = d$ என்றும் கொண்டால் 10·5 பகுதியில் காட்டியபடி,

$$S_2Q = \frac{x_n d}{D} \text{ எனக் காட்டலாம்.}$$

$$\text{ஆகையால், } \frac{x_n d}{D} - (\mu - 1)t = n\lambda \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{அல்லது} \quad x_n = \frac{D}{d}\{n\lambda + (\mu - 1)t\} \text{ ஆகும்.} \quad \ldots \quad 10{\cdot}11$$

$x_n$ என்பது மென்தட்டு நுழைக்காதபொழுது மையவரி ஏற்படுகின்ற இடத்திலிருந்து மென்தகடு நுழைத்தபொழுது '$n$' எண்ணுடைய ஒளி வரி ஏற்படுகின்ற தூரமாகும்.

மென்தட்டு நுழைத்தபின் மைய வரி காணுகின்ற இடத்தின் தூரத்தைக் காண சமன்பாடு (10·11)-ல் $n = 0$ ஆக இருக்க வேண்டும். ஆகையால்,

$$x_0 = \frac{D}{d}(\mu - 1)\,t \text{ ஆகும்.} \quad \ldots \quad \ldots \quad 10{\cdot}12$$

அல்லது குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படுத்துகின்ற இரு ஒளிக்கற்றை களின் ஒன்றின் பாதையில் ஓர் ஒளிபுகு மென்தட்டை நுழைப்பதால் குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தின் மையவரி $\frac{D}{d}(\mu - 1)$ தொலைவு நகரும். மென்தட்டின் விலகெண் ஒன்றைவிட அதிகமாக இருப்பதால் $x_0$ நேர்குறியுடையதாக இருக்கும். அல்லது மையவரி, மேல்நோக்கி நகரும். முதல் ஒளி வரி நிலையைக் காண சமன்பாடு (10·11)-ல் $n = 1$ ஆக இருக்கவேண்டும்.

$$x_1 = \frac{D}{d}\{\lambda + (\mu - 1)\,t\}$$

இவ்வாறே $\quad x_2 = \frac{D}{d}\{2\lambda + (\mu - 1)\,t\}$

அல்லது இரண்டாவது ஒளிவரிக்கும் முதல் ஒளிவரிக்கு மிடையி லுள்ள தூரம் அதாவது வரி அகலம்

$$\beta = x_2 - x_1 = \frac{D\lambda}{d} \text{ ஆகும்.} \quad \ldots \quad \ldots \quad 10{\cdot}13$$

இது எல்லா வரிகளுக்கும் ஒன்றாகவே இருக்கும். மென்தட்டு நுழைக்காமல் இருக்கும்போதும் வரிஅகலம் சமன்பாடு 10·3-ன் படி $\frac{D\lambda}{d}$ யாகத்தான் உள்ளது. மென்தட்டு நுழைப்பதால் வரி அகலத்தில் எந்தவித மாறுபாடுமிருக்காது.

சமன்பாடு 10·13-லிருந்து

$$\frac{D}{d} = \frac{\beta}{\lambda} \text{ என ஆகிறது.}$$

இந்த $\frac{D}{d}$ ன் மதிப்பை சமன்பாடு 10·12-ல் பொருத்தினால்,

$$x_0 = \frac{\beta}{\lambda}(\mu - 1)\,t \text{ என ஆகும்.} \quad \ldots \quad \ldots \quad 10{\cdot}14$$

ஆகையால் $t$, $x_0$, $\mu$ மற்றும் $\beta$ இவைகளின் மதிப்புத் தெரிந்தால் $\lambda$ வின் மதிப்பைக் கணிக்கலாம். இதில் $x_0$ ஐயும் $\beta$ யின் மதிப்பை யும் ஓர் ஒளியியல் அளவுச் சட்டத்தைப் பயன்படுத்திக் காணலாம்.

ஆனால், ஒற்றைநிற ஒளியைப் பயன்படுத்தினால் எல்லா ஒளி வரிகளும் ஒன்றுபோலிருப்பதால் மையவரி எது என்று தெரிந்து

கொள்ள முடியாது. ஆகையால், பொதுவாக ஒரு வெள்ளை நிற ஒளி மூலகத்தைப் பயன்படுத்தினால் மையவரி வெள்ளைவரியாகவும் மற்ற வரிகள், நிறங்களை உடையனவாகவும் இருக்கும். ஆகையால், மையவரி எது என்று கண்டுகொள்ளமுடியும். இப்பொழுது மென் தட்டை நுழைத்தால் மையவரி எவ்வளவு தூரம் நகருகிறது என்பதைக் கண்ணருகுக் கருவியோடு பொருத்தியுள்ள மைக்ரோ மீட்டர்மூலம் அளந்துகொள்ளலாம். பின்னர் வெள்ளை நிற ஒளிக்குப் பதிலாக, ஒற்றைநிற ஒளியைப் பயன்படுத்திக் கண்ணருகுக் கருவியை அதே தூரத்திற்கு நகர்த்தும்பொழுது, எத்தனை வரிகள் குறுக்கிணைக் கம்பியைக் கடக்கின்றன எனக் கண்டுகொள்ளலாம். உதாரணமாக $S$ வரிகள் கடக்கின்றன என்றால், ஒரு வரி அகலம் $\beta$ ஆனால், மையவரி நகர்த்தப்பட்ட தூரம் $x_0 = S\beta$ என ஆகும்.

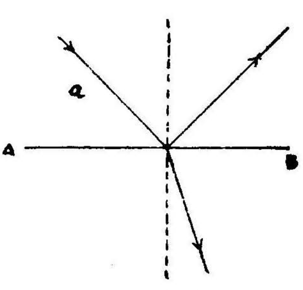
சமன்பாடு (10·14)-ன் படி

$$S\beta = \frac{\beta}{\lambda}(\mu - 1)t$$

அல்லது $S = \frac{1}{\lambda}(\mu - 1)t$ என ஆகும். ... ... 10·15

இதில் $S$ சோதனையின்மூலம் எண்ணப்பட்டுள்ளது. $\mu$, $t$ இவைகளின் மதிப்புத் தெரிந்தால் $\lambda$-வின் மதிப்பையும் $\lambda$, $t$ இவைகளின் மதிப்புத் தெரிந்தால் $\mu$-வின் மதிப்பையும் கணிக்கலாம்.

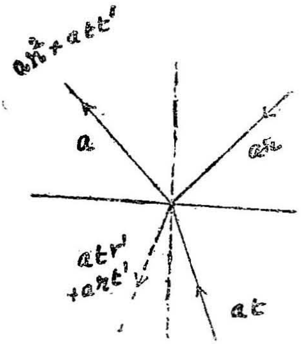
10·12. அடர்மிகு ஊடகத்தில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பினால் ஏற்படும் கட்ட மாற்றம் (Phase change due to reflection at denser medium): ஒற்றைநிற அலையின் சமதள அலைமுகப்பு AB என்ற பிரிதளத்தில் படுவதாகக் கொள்வோம் (படம் 12·12). AB பிரிதளம் ஓர் அடர் ஊடகத்தைக் காற்று ஊடகத்திலிருந்து பிரிக்கிறது. படுஅலையின் அலைவீச்சு $a$ எனக் கொள்வோம். படு ஒளி அலை, அலைவீச்சில்




படம் 10·12

$r$ பகுதி எதிரொளிப்பதாகவும், $t$ பகுதி ஊடகத்தில் ஊடுருவுவதாகவும் இருக்கட்டும். எனவே, எதிரொளிப்பு அலையின் அலைவீச்சு $a\,r$ ஆகும்.

ஊடகத்தில் கடந்து செல்லும் அலையின் அலைவீச்சு $a\ t$ ஆகும். இப்பொழுது ஏதோ ஒரு முறையால் எதிரொளிப்பு அலை, கடந்து செல்லும் அலை இரண்டும் திருப்பப்படுவதாகக் கொள்வோம். அடர் குறை ஊடகத்தில் எதிரொளிப்பு ஏற்படும்பொழுது அலைவீச்சின் $r'$ பகுதி எதிரொளிப்பதாகவும் அடர்மிகு ஊடகத்திலிருந்து அடர்குறை ஊடகத்திற்குக் கடந்து செல்லும்பொழுது $t'$ பகுதி கடத்தப்படுவ தாகவும் கொள்வோம். அடர்மிகு ஊடகத்தினுள் திருப்பப்பட்ட அலையின் ஒரு பகுதி பிரிதளத்தில் எதிரொளிக்கும். மறு பகுதி அடர்குறை ஊடகத்திற்குக் கடந்து செல்லும். அடர்மிகு ஊடகத்தில் கடந்து சென்ற அலையின் அலைவீச்சு $a\ t$ திருப்பப்பட்டவுடன் ஊடகத்தினுள் எதிரொளிப்பால் $atr'$ எனவும் ஊடகத்திலிருந்து வெளிவரும் பகுதி $att'$ எனவும் பிரியும் (படம் 10·13). இதேபோல் எதிரொளிப்பு ஒளியின் அலைவீச்சு $a\ r$ திருப்பப்பட்டவுடன் ஊடகத்தில் கடந்துசெல்லும் பகுதி $a\ r\ t$ எனவும்



படம் 10·13

எதிரொளிப்புப் பகுதி $ar^2$ எனவும் பிரியும். இவ்வாறு எதிரொளிப்பு அலையும் கடந்துசெல்லும் அலையும் திருப்பப்பட்டால் அவை முதலில் பிரிதளத்தில் விழுந்த படு அலையின் அலைவீச்சைக் கொடுக்க வேண்டும்.

ஆகையால்,

$$ar^2 + att' = a \quad \text{ஆகும்.}$$

$$atr' + art = 0 \quad \text{ஆகும்.}$$

இதிலிருந்து

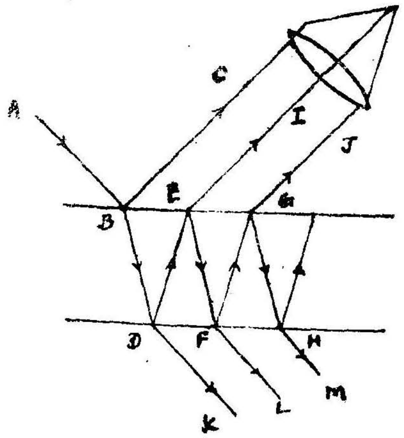
$$r' = -r \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 10{\cdot}16$$

$$tt' = 1 - r^2 \text{ எனவுமாகும்.} \quad \ldots \quad \ldots \quad 10{\cdot}17$$

அதாவது அடர்மிகு ஊடகத்தில் எதிரொளிப்புக் குணகம் அடர்குறை ஊடகத்தின் எதிரொளிப்புக் குணகத்திற்குச் சமமாகவும் எதிராகவுமிருக்கும் என ஆகிறது. லாயட்ஸ் ஆடி சோதனையில் அடர்மிகு ஊடக எதிரொளிப்பில் கட்ட வேறுபாடு $\pi$ ஏற்படுவதைக் கண்டோம். ஆகையால், ஒளி அடர்குறை ஊடகத்தில் எதிரொளிக்கும்பொழுது படு அலைக்கும் எதிரொளிப்பு அலைக்கும் கட்ட வேறுபாடு ஏற்படாது.

**10·13. சமதள மென்படலத்தின் எதிரொளிப்பு (Reflection from a thin film):** ஒளிபுகு ஊடகத்தினுலான படலத்தில் பன்முக எதி

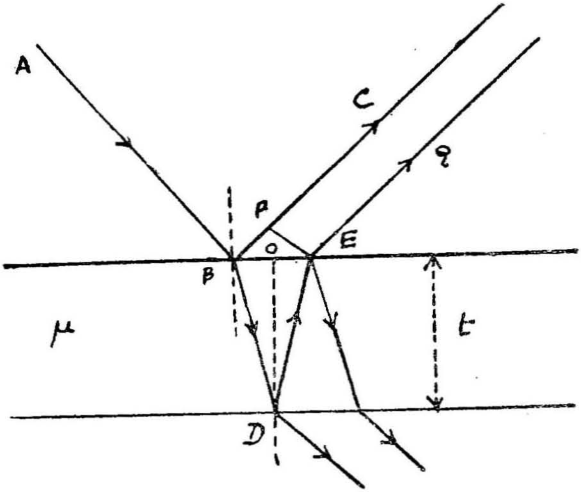
ரொளிப்புகளால் சில குறுக்கீட்டு விளைவுகள் ஏற்படுகின்றன. இரு கதிர்களினால் ஏற்படுகின்ற குறுக்கீட்டு விளைவு கதிர் அலைகளினால் ஏற்படுவதுதான் என்பதை நாம் நினைவில் கொள்ளவேண்டும்.




படம் 10·14

படம் 10·14-ல் AB என்ற ஒற்றைநிற ஒளிக்கதிர் ஒளிபுகு ஊடகத்தின் மேற்பரப்பில் விழுவதாகக் கொள்வோம். B-ல் ஒளியின் ஒரு பகுதி BC ஆக எதிரொளிக்கப்படுகிறது. ஒரு பகுதி ஊடகத்தினுள் BD ஆகக் கடந்து செல்லுகிறது. BD கதிர், மென்படலத்தின் மறு பரப்பில் D-ல் பட்டு, ஒரு பகுதி DE ஆக எதிரொளிக்கிறது. மறு பகுதி DK ஊடகத்திலிருந்து வெளியே கடந்து செல்கிறது. இதே போல் பல எதிரொளிப்புகளும், ஒளிவிலகல்களும் ஏற்படுகின்றன. ஆனால், முதலில் ஒரு சில எதிரொளிப்பு, விலகல்களுக்குப்பின் ஒளிச் செறிவு மிகவும் குறைந்துவிடும். இத்தகைய எதிரொளிப்பு, ஒளி விலகல்களின் விளைவாக மென்படலத்தின் இரு பரப்புகளிலிருந்தும் இரண்டு வரிசை இணைக்கதிர்கள் கிடைக்கும். எந்த ஒரு வரிசை இணைக்கதிர்களையும் ஒரு குவிவில்லையைப் பயன்படுத்தி ஒரு புள்ளியில் ஒன்று சேர்க்கலாம். மென்படலத்தின் மேற்பரப்பில் கிடைப்பது எதிரொளிப்பு இணைக்கதிர்கள் (reflected rays) எனவும், கீழ்பரப்பிலிருந்து வெளிவருவனவற்றை ஊடுருவிய ஒளிக்கதிர்கள் (trans mitted rays) எனவும் கூறப்படும். இந்த அமைப்பில் ஒவ்வொரு கதிரும் P என்ற ஒரு புள்ளியில் ஒன்று சேருமுன் வெவ்வேறு பாதைகளைக் கடந்திருப்பதால் அவற்றுக்குள் கட்ட மாறுபாடு ஏற்பட்டு அதற்கேற்ப, அவைகள் குறுக்கீட்டு ஆக்க விளைவையோ அல்லது குறுக்கீட்டு அழித்தல் விளைவையோ ஏற்படுத்தும். இப்பொழுது எதிரொளிப்பு இணைக்கதிர்களின் அடுத்தடுத்த இரு கதிர்களின்

கட்ட வேறுபாட்டைக் காண முதலில் அவற்றின் பாதை வேறு பாட்டைக் காண்போம்.




படம் 10·15

AB என்ற படுகதிர் மென்படலத்தின் மேல்பரப்பில் $i$ படுகோ ணத்தில் விழுவதாகக் கொள்வோம் (படம் 10·15). இதில் ஒரு பகுதி BC ஆக எதிரொளிக்கப்படுகிறது. மறு பகுதி BD ஆக ஊட கத்தில் கடந்து சென்று மறு பரப்பில் எதிரொளிக்கப்பட்டு DE மேற் பரப்பில் F-ல் பட்டு ஒரு பகுதி EQ ஆக வெளிவருகிறது. இப் பொழுது BC-க்கும் EQ-க்கும் உள்ள பாதைவேறுபாட்டைக் காண்போம்.

மென்படலத்தின் கனம் t ஆகவும் விலகெண் $\mu$ ஆகவும் கொள்வோம். BC-க்கு E-யிலிருந்து வரைந்த குத்துக்கோடு EP. BC, EQ இரு கதிர்களும் முறையே P, E இவற்றிற்கு அப்பால் சம பாதையில் செல்வதால் பாதை வேறுபாடு ஏற்படாது. ஆகையால் இவ் விரு கதிர்களுக்குமுள்ள பாதை வேறுபாடு,

$$= (BD+DE) \text{ ஊடகத்தில்} - BP \text{ காற்றூடகத்தில்}$$

$$= \mu\,[BD+DE]-BP \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 10{\cdot}18$$

AB படுகதிருக்கு ஏற்படுகின்ற விலகு கோணம் $r$ $BDE=2r$

ஆனால், D-யிலிருந்து மென்படலத்தின் மேற்பரப்பிற்கு DO என்ற ஒரு குத்துக்கோடு வரைந்தால் அது BDE-ஐ இரு சம பாகங்களாகப் பிரிக்கும். மேலும் O, BE-ன் மையப்புள்ளியாகவும் இருக்கும். BDO என்ற முக்கோணத்திலிருந்து,

$$\frac{DO}{BD} = \cos r$$

அல்லது $$BD = \frac{DO}{\cos r} = \frac{t}{\cos r}$$

மேலும், $$BD = DE$$

BD-ன் இந்த மதிப்பை சமன்பாடு 10·18-ல் பொருத்தினால் பாதை வேறுபாடு,

$$= \mu\,(2\,BD) - EP$$

$$= \frac{2\mu t}{\cos r} - BP \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 10{\cdot}18$$

முக்கோணம் PBE-ல் $\widehat{PBE} = (90 - i)$ ஆகும்.

ஆகையால், $$\frac{BP}{BE} = \cos(90 - i) = \sin i$$

$$BP = BE \,.\, \sin i$$

ஆனால், $BE = 2\,BO = 2\,t \tan r$ (முக்கோணம் BDO-விலிருந்து)

ஆகையால் $$BP = 2t \tan r \,.\, \sin i \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 10{\cdot}19$$

இதைச் சமன்பாடு 10-18-ல் பொருத்தினால் பாதைவேறுபாடு

$$= \frac{2\mu t}{\cos r} - 2t \tan r \sin i$$

$$(\sin i = \mu \sin r)$$

$$= \frac{2\mu t}{\cos r}\,[1 - \sin^2 r]$$

$$= \frac{2\mu t}{\cos r} \cos^2 r$$

$$= 2\mu t \cos r \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 10{\cdot}20$$

BC, EQ என்ற இரு கதிர்களால் குறிக்கப்படும் அலைகளும் ஒருங்கிணையும் புள்ளியில் O, $2\pi$, $4\pi$ ... $2n\pi$ என்ற கட்ட வேறுபாட்டில் ஒருங்கிணைந்தால் இரு அலைகளும் ஒன்றையொன்று வலிஊட்டும். அந்த இடம் பொலிவுற்றிருக்கும். அல்லது $\pi$, $3\pi$, $5\pi$ ...$(2n+1)\pi$ என்ற கட்ட வேறுபாட்டிலிணைந்தால் இரு கதிர்களும் ஒன்றை ஒன்று எதிர்த்தழிக்கும். அந்த இடம் இருளாக இருக்கும்.

ஆகையால் வலியூட்டும், கட்ட வேறுபாடு காணப் பாதை வேறுபாடு பொதுவாக $n\lambda$ ஆக இருக்கவேண்டும். ஆனால், ABC, ABDEQ என்ற கதிர்களுக்கான அலைகளில் பாதை வேறுபாட்டால்

ஏற்படும் கட்ட வேறுபாட்டுடன், ABC கதிர் அடர்மிகு ஊடகப் பரப்பில் எதிரொளிப்பதால் கூடுதலாக $\pi$ கட்ட வேறுபாடு அடைகிறது. எனவே, இரு அலைகளும் வலியூட்டிக் கொள்வதற்குத் தேவையான கட்டவேறுபாடு $2n\pi$-ல் அடர்மிகு ஊடக எதிரொளிப்பால் ஏற்படும் கட்டவேறுபாடு $\pi$-ஐயும் சேர்த்துக் கணக்கிட வேண்டும். ஆகையால் ABC, ABDE Q என்ற கதிர்களின் கூடுதல் பாதை வேறுபாடு $2\mu t \cos r + \frac{\lambda}{2}$ என ஆகும். இந்தப் பாதை வேறுபாடு $n\lambda$ விற்கு சமமாக அமையுமானால், இரு கதிர்களுக்கான அலைகளும் குறுக்கீட்டு ஆக்க விளைவை ஏற்படுத்தும். அந்த இடத்தில் ஒளிப்பொலிவு பெருமமாக இருக்கும்.

$$2\mu t \cos r \pm \frac{\lambda}{2} = n\lambda \text{ (பெருமம்)} \quad \dots \quad \dots \quad 10{\cdot}21$$

இதேபோல் பாதைவேறுபாடு

$$2\mu t \cos r \pm \frac{\lambda}{2} = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

என்றுகும் இடங்களில் இரு அலைகளும் ஒன்றை ஒன்று எதிர்த்தழிக்கும். அந்த இடத்தில் குறுக்கீட்டு அழித்தல் விளைவு ஏற்பட்டு, ஒளிப்பொலிவு சிறுமமாக இருக்கும். ஆகையால்,

$$2\mu t \cos r \pm \frac{\lambda}{2} = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

என்றுகும் (சிறுமம்) ... ... ... ... 10·22

(மேற்கண்ட நிபந்தனைகளை அடைவதற்கு நாம் முதலிரு கதிர்களைத் தான் எடுத்துக்கொண்டோம். ஆனால், இரு எதிரொளிப்புகளுக்குப் பின் கதிர்களின் ஒளிச்செறிவு பெரிதும் குறைந்துவிடுவதால் முதல் இரு எதிரொளிப்புகளால் ஏற்படும் விளைவு அதிகமாகப் பாதிக்கப் படாது என்று காட்டமுடியும்).

**10·14. மென்படலத்தைக் கடந்த ஒளியில் குறுக்கீட்டு விளைவு** (*Interference of transmitted light in a thin film*): படம் 10·14-ல் DK என்ற கதிர் மென்படலத்தின் வழியாகக் கடந்து வந்த கதிர் FL, HM முதலியன ஒன்றிரு எதிரொளிப்பிற்குப் பின், கடந்து வெளிவந்த கதிர்கள். இந்தக் கதிர்களை ஒரு குவி வில்லையைக் கொண்டு ஒரு புள்ளியில் குவியச் செய்தால் அங்கும் குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படும். எதிரொளிப்புப் பகுதியில் காட்டியதுபோல் BDK என்ற கதிருக்கும் BDEFL என்ற கதிருக்குமுள்ள பாதை வேறுபாடு,

$= 2\mu t \cos r$ என்று காட்டலாம். ஆனால் இந்தக் கதிர்களின்

எந்தப் பகுதியும் அடர்மிகு ஊடகப் பரப்பில் எதிரொளிப்பு அடையாததால், அதனால் ஏற்படும் கட்ட வேறுபாடு ஏற்படாது. எனவே, இவ் விரு கதிர்களுக்குமிடையே $2n\pi$ கட்ட வேறு பாடு ஏற்பட்டால் குறுக்கீட்டு ஆக்கவிளைவும், $(2n-1)\pi$ கட்ட வேறுபாடு ஏற்பட்டால் குறுக்கீட்டு அழித்தல் விளைவும் ஏற்படும். ஆகையால், கடந்து வந்த ஒளிக்கதிர்களில் பாதை வேறு பாடு $= n\lambda$ ஆனால் பெருமமும், $(2n-1)\frac{\lambda}{2}$ ஆனால், சிறுமமும் ஏற்படும்.

அல்லது,

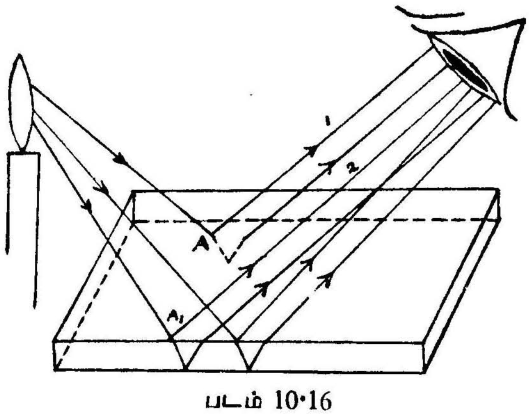
$$2\mu t \cos r = n\lambda \quad \text{(பெருமம்)} \qquad \ldots \quad 10{\cdot}23$$

மற்றும்,

$$2\mu t \cos r = (2n-1)\frac{\lambda}{2} \quad \text{(சிறுமம்)} \qquad \ldots \quad 10{\cdot}24$$

என்று ஆகும்.

**10·15. ஒரே சாய்வினால் ஏற்படும் வரிகள் (Fringes of equal inclination):** ஒரு மென் சமதளப் படலத்தில் பரவலான ஓர் ஒற்றை நிற ஒளி மூலத்திலிருந்து ஒளி வெவ்வேறு கோணத்தில் விழுவதாகக் கொள்வோம் (படம் 10·16).




படம் 10·16

A-ல் விழுகின்ற கதிர்கள் எதிரொளிப்பிற்குப் பின் 1, 2 என்ற கதிர்களாகச் செல்வதாகக் கொள்வோம். மேலும் A-ல் விழும் பொழுது ஏற்படுகின்ற படுகோணத்தினால்

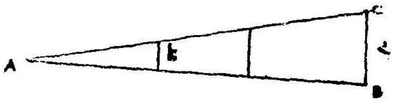
$2\mu t \cos r = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$ என்று ஆனால் 1, 2 இரு கதிர்களும் குறுக்கீட்டு ஆக்கவிளைவு ஏற்படுத்தும் (இதில் படலத்

தின் எல்லா இடங்களிலும் ஒரே கனமாகக் கொள்ளப்படுகிறது). இதேபோல் உள்ள எல்லாப் புள்ளிகளும், படுகோணம் ஒன்றாக இருப்பதெல்லாம் $2\mu t \cos r = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$ என்று ஆகி ஒளியுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளும் ஒளி வரியாகி ஒரு கோட்டிலமையும். இதே போல் $2\mu t \cos r = n\lambda$ ஆக உள்ள எல்லாப் புள்ளிகளும் ஓர் இருள் வரியாக அமையும். ஆகையால், படுகோணத்தைப் பொறுத்து ஒன்றுவிட்டொன்று ஒளி-இருள் வரிகள் அமையும். இத்தகைய வரிகள் ஒரே கோணத்திலமைந்த வரிகளெனப்படும். இந்த அமைப்பில் குறுக்கீட்டு விளைவை ஏற்படுத்தும் கதிர்கள் இணையாக இருப்பதால் குறுக்கீட்டு விளைவு வரிகள் எண்ணிலாத் தொலைவில் தான் ஏற்படும்.

எனவே, இத்தகைய வரிகளை எண்ணிலாத் தொலைவுக்குக் குவியப்படுத்தப்பட்ட தொலைநோக்கியின் மூலந்தான் காணமுடியும்.

10·16. ஒரே கனத்தால் ஏற்படும் வரிகள் (Fringes of equal thickness): ஓர் ஒற்றைநிற ஒளியால் ஒளிரச்செய்த ஒரு பரந்த மென்படலத்திலிருந்து வரும் எதிரொளிப்பு ஒளியை ஒருவர் தம் கண்ணைச் சற்றுத் தொலைவில் வைத்துக்கொண்டு காண்பதாகக் கொள்வோம். மென்படலத்தின் ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றொரு புள்ளிக்குப் பார்வை மாறும்பொழுது மென்படலத்தில் விழும் ஒளியின் படுகோணத்திலேற்படும் மாறுதல், மென்படலக் கனத்திலேற்படும் மாறுதலைப்பார்க்கிலும் மிகவும் குறைவாக இருக்கும். ஆகையால், கண்ணில் படும் குறுக்கீட்டு விளைவுப்பாங்கில் ஒளிச்செறிவின் பெருமத்திலிருந்து சிறுமத்திற்கு மாறுவதற்கு மென்படல கனம் $t$ மாறுபடுவதுதான் காரணம். ஆகையால், இதில் கிடைக்கின்ற குறுக்கீட்டு விளைவு வரிகள் ஒரே கனத்தில் ஏற்படும் வரிகளாகும். ஒவ்வொரு வரியும் படலத்தின் ஒரே கனமுள்ள புள்ளிகளை இணைக்கும் நியமமாகக் கொள்ளலாம்.

10·17. காற்று ஆப்பு (Air wedge): AB, AC என்று இரு சிறு சமதள கண்ணாடித் துண்டுகளைக் கொண்டு அமைக்கப்பட்ட ஒரு




படம் 10·17

காற்று ஆப்பை (air wedge) படம் (10·17) ஓர் ஒற்றைநிற ஒளியைக்கொண்டு நேர்க்குத்தாக ஒளியூட்டுவதாகக் கொள்வோம்.

காற்று ஆப்பை எதிரொளிப்பு ஒளியில் பார்ப்பதால் ஒரே வரி அகலங் கொண்ட நேரான குறுக்கீட்டு விளைவு வரிகள், ஒரே இடை வெளியில் A முனைக்கு இணையாக அமைந்திருப்பதைக் காணலாம்.

ஒரு நுண்ணோக்கியைக் கொண்டு இந்த வரிகளைக் காணலாம். A முனையிலிருந்து $X_n$ தொலைவில் $n$ எண்ணுடைய இருள்வரி அமைந்திருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்த இடத்தில் காற்று ஆப்பின் கனம் '$t$' ஆனால், இந்த இடத்தில் $n$ இருள்வரி ஏற்பட, சமன்பாடு 10·22-ன் படி,

$$2 \mu t \cos r = n\lambda \text{ ஆக வேண்டும்.}$$

ஊடகம் காற்றாகையால் $\mu = 1$ மேலும் ஒளி நேர்குத்தாக விழுவதால், $r = 0$. எனவே $\cos r = 1$

$$2t = n\lambda \text{ ஆகும்.} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad 10{\cdot}25$$

A-க்கும் B-க்குமுள்ள தூரம் L என்றும் B முனையில் இரு கண்ணாடித் துண்டங்களுக்குமுள்ள இடைவெளி $d$ எனவும் கொண்டால்,

$$\frac{X_n}{L} = \frac{t}{d}$$

அல்லது $$t = \frac{X_n}{L} d$$

$t$-யின் இந்த மதிப்பை, சமன்பாடு (10·25)-ல் பொருத்தினால்

$$\frac{2X_n}{L} d = n\lambda$$

$$X_n = \frac{L}{2d} \cdot n\lambda \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad 10{\cdot}26$$

இதேபோல் $(n+1)$ இருள்வரியின் தூரம் $X_{(n+1)}$ ஆனால்,

$$X_{n+1} = \frac{L}{2d} \cdot (n+1)\lambda \text{ ஆகும்.} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad 10{\cdot}27$$

அல்லது இரு இருள்வரிகளுக்கிடையிலுள்ள தூரம், அதாவது வரி அகலம்

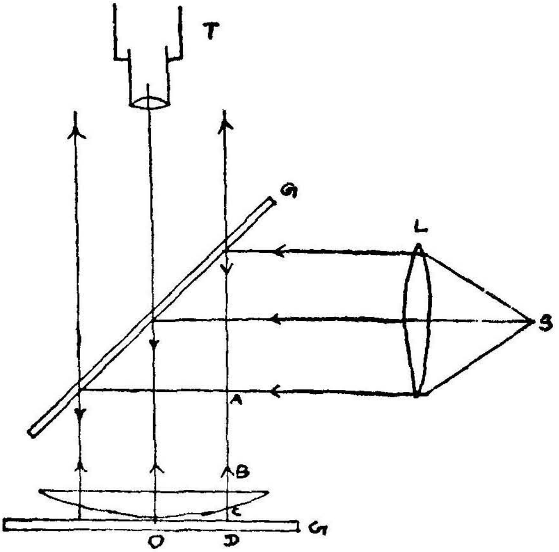
$$\beta = \frac{L\lambda}{2d} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad 10{\cdot}28$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் $n$ இல்லாமலிருப்பதால் $\beta$ (வரி அகலம்) $n$-ஐப் பொறுத்திருக்காது. அல்லது எல்லா வரிகளும் ஒரே அகலம் கொண்டிருக்கும். சோதனையின்மூலம் வரி அகலம், கண்டுபிடித்தால், L, $\lambda$ இவற்றின் மதிப்பு தெரிந்தால் $d$ன் மதிப்பைக்

கணிக்கலாம். இந்த முறையைக்கொண்டு, ஒரு மின்கம்பியின், அல்லது தாளின் கனத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

10·18. பரப்புகளின் சமதள அமைப்பை ஒளியியல்பைக் கொண்டு சோதித்தல்: இரு பரப்புகளை ஒன்றின்மேல் ஒன்றுகச் சிறிது சாய்வாகப் பொருத்தினுல் இரு பரப்புக்களுக்குமிடையில் ஆப்பு வடிவக் காற்றுப் படலம் ஏற்படும். இந்தப் படலத்தை ஓர் ஒற்றைநிற எதிரொளிப்பு ஒளியின் மூலம் கண்டால் ஒரே அகலமுள்ள இருள்-ஒளி வரிகள் காணப்படும். இவற்றில் ஒரு பரப்பு சமமாக இல்லாவிடிலும் அந்த இடத்திலிருக்கும் காற்றுப் படலத்தின் கனம் வேறுபட்டு ஒளி இருள்வரிகள் நேராக இல்லாமல் வளைந்து காணப்படும். ஆகையால், பரப்புகளை சமதளத்தை சோதிப்பதற்கு வரிகளை அமைத்துப் பார்த்து நேர்வரிகளாக அமைந்தால், பரப்புகள் சமதளப் பரப்புகளாக இருக்கும்.

10·19. நியூட்டன் வளையங்கள் (எதிரொளிப்பு அமைப்பு-Newton's rings reflected system): ஒரு சமதள குவிவில்லையை (L) ஒரு




படம் 10·18

சமதளக் கண்ணுடிப் பரப்பின்மேல் (G) வில்லையின் ஒரு கண்ணுடிப் பரப்பை O-ல் தொடுமாறு வைத்தால் வில்லைக்கும் கண்ணுடித் தளத்திற்கும் இடையில் ஒரு காற்று மென்படலம் ஏற்படும். இந்தக் காற்றுப் படலத்தின் கனம் O-ல் சுழியாகவும் வெளிப்புறம் செல்லச் செல்ல அதிகமாகிக் கொண்டுமிருக்கும். ஒரு நிற ஒளிகற்றைச்

செங்குத்தாக இந்த அமைப்பின்மேல் விழுவதாகக் கொள்வோம். ஒரு சோடியம் விளக்கிலிருந்து வருகின்ற ஒளியை ஒரு குவிவில்லையைக் கொண்டு படம் 10·18-ல் காட்டியதுபோல இணைக்கற்றைகளாக மாற்றி, இந்த ஒளி இணைக்கற்றையை, தரை தளத்திற்கு 45° சாய்ந்திருக்கும் ஒரு கண்ணாடித்தட்டில் ($G_1$) விழச் செய்தால் எதிரொளிப்பு ஏற்பட்டுச் செங்குத்தாக வில்லையின்மேல் விழும். இவ்வாறு செங்குத்தாக விழும் ஒளிக்கற்றையில் AB என்ற கதிரைக் கவனித்தால், இதில் ஒரு பகுதி காற்று மென்படலத்தின் மேற்பரப்பில் (C-ல்) CBA ஆக எதிரொளிக்கப்படுகிறது. மறு பகுதி காற்று மென்படலத்தில் ஊடுருவிச் சென்று (D-ல்) கண்ணாடிப் பரப்பில் எதிரொளிக்கப்பட்டு DCBA ஆகத் திரும்பிச் செல்கிறது. இதில் AB என்ற ஒரே படுகதிரிலிருந்து அலைவீச்சுப் பிரிவினால் இரு கதிர்கள் பெறப்படுகின்றன. இந்த இரு கதிர்களின் பாதை வேறுபாடு = 2CD ஆகும்.

இதில் C-ல் ஏற்படும் எதிரொளிப்பு அடர்குறை ஊடகத்தில் ஏற்படுவதால் கட்டவேறுபாடு ஏற்படாது. ஆனால், D-ல் ஏற்படுகின்ற எதிரொளிப்பில் அடர்மிகு ஊடகத்தில் ஏற்படுவதால் $\pi$ கட்ட வேறுபாடு காணும். அல்லது இந்தக் கட்டவேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ பாதை வேறுபாட்டிற்குச் சமம்.

ஆகையால், இரு எதிரொளிப்புக் கதிர்களுக்குமிடையில் உள்ள பாதை வேறுபாடு

$$2\,CD + \frac{\lambda}{2} \text{ ஆகிறது.}$$

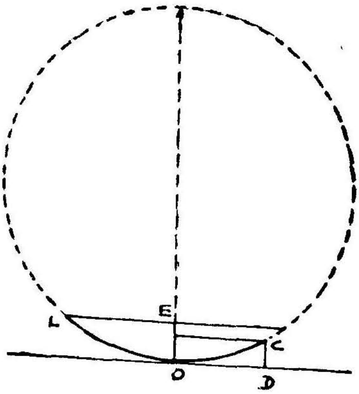
இந்தப் பாதை வேறுபாடு $2CD + \frac{\lambda}{2} = n\lambda$ என்றால் இரு கதிர்களும் ஒன்றை ஒன்று வலிவூட்டும். மாறாக,

$$2\,CD + \frac{\lambda}{2} = (2n + 1)\,\frac{\lambda}{2} \text{ ஆனால்,}$$

இரு கதிர்களும் ஒன்றை ஒன்றெதிர்த்தழிக்கும். புள்ளி O-விலிருந்து வெளிப்புறமாக நகர்ந்து செல்லச்செல்லக் காற்று மென்படலத்தின் கனம் (CD) அதிகமாகிக்கொண்டிருக்கும். ஆகையால் ஒன்றுவிட்டொன்று ஒளிவரிகளும் இருள்வரிகளும் தொடர்ந்திருக்கும். O-ஐ மையமாகவும், OD-ஐ ஆரமாகவும் கொண்டு ஒரு வட்டம் வரைந்தால், இந்த வட்டத்தின்வழி செல்கின்ற எல்லாக் கதிர்களுக்கும் பாதை வேறுபாடு சமமாக இருக்கும். இந்த வட்டம் முழுவதும் ஒளி வரியாகவோ அல்லது இருள்வரியாகவோ இருக்கும். ஆகையால் இதேபோல், பல ஒன்றைவிட்டொன்று ஒளி-இருள், பொது, மைய வளையங்கள் அமைந்திருக்கும். இந்த வளையங்கள் நியூட்டன்

வளையங்கள் எனப்படும். O-ல் வில்லையும் கண்ணாடித்தட்டும் ஒன்றை ஒன்று தொட்டுக்கொண்டிருப்பதால், இந்த இடத்தில் காற்றுப் படலத்தின் கனம் அலைநீளத்தைக்காட்டிலும் மிகமிகக் குறைவாக இருக்கும். இருந்தபோதிலும் கண்ணாடித் தட்டில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பில் $\pi$ கட்டமாறுபாடு ஏற்படுவதால், மையம் இருளாக இருக்கும்.

ஒரு நுண்ணோக்கியின் மூலம் இந்த நியூட்டன் வளையங்களின் ஆரங்களை அளந்தால் அவற்றிலிருந்து ஒளியின் அலை நீளத்தைக் கணக்கிடலாம்.




படம் 10·19

வில்லையின் வளைவு ஆரம் R எனக் கொள்வோம். படம் 10·19-ல் D-ல் $n$ எண்ணுடைய ஒளி வளையம் இருப்பதாகக்கொண்டால் D-ல் எதிரொளிக்கின்ற இரு கதிர்களுக்கிடையிலுள்ள கூடுதல் பாதை வேறுபாடு $n\lambda$ ஆகவும் அல்லது $2\,CD = (2n-1)\dfrac{\lambda}{2}$ ஆக இருக்க வேண்டும். இந்த வளையத்தின் ஆரம் $r_n$ எனக் கொண்டால் படம் (10·19)லிருந்து,

$$r_n^2 = (2R - EO)EO$$
$$= (2R - CD)CD$$
$$= 2R.\,CD \qquad (\because CD << R)$$
$$2\,CD = \frac{r_n^2}{R} \qquad \dots \quad \dots \quad \dots \qquad 10{\cdot}29$$

ஆகையால்,

$$\frac{r_n^2}{R} = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$$ ஆக இருந்தால் ஒளி வளையமும் ... 10·30

$\frac{r_n^2}{R} = n\lambda$ ஆக இருந்தால் இருள் வளையமும் (10·31) ஏற்படும் அல்லது $d_m$, $d_n$ என்பன $m$, $n$ எண்ணுடைய இருள் வளையங்களின் விட்டங்களானால்,

$$\frac{d_m^2}{4R} = m\lambda \text{ என்றும் } \frac{d_n^2}{4R} = n\lambda \text{ என்றும் ஆகும்} \ldots 10·32.$$

அல்லது $$\frac{d_m^2 - d_n^2}{4R} = (m - n)\lambda \text{ ஆகும்.}$$

10·20 நியூட்டன் வளையங்களைக் கொண்டு ஒற்றை நிற ஒளி அலை நீளத்தை அளத்தல் : நியூட்டன் வளையங்கள் ஏற்படுவதற்கான அமைப்பை, படம் 10·18 விளக்குகிறது. நியூட்டன் வளையங்கள் அமைந்தவுடன் நுண்ணோக்கியின் மூலம் வளைய அமைப்பைக் காண வேண்டும். நுண்ணோக்கியின் குறுக்கிணைக்கம்பியை முதலில் மையப் புள்ளியில் பொருந்துமாறு பொருத்திக்கொள்ளவேண்டும். பின்னர் நுண்ணோக்கியை வலப்புறமாக நகர்த்திக்கொண்டு குறுக்கிணைக் கம்பிகளைக் கடக்கின்ற இருள் வளையங்களை எண்ணிக்கொள்ள வேண்டும். 30-ஆவது வளையத்தில் குறுக்கிணைக் கம்பியை வளையத்தின் தொடுகோடாக அமையுமாறு பொருத்தவேண்டும். நுண்ணோக்குக் கருவியின் அளவுச் சட்டத்தில் உள்ள அளவைக் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள அட்டவணையில் குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். பின்னர் நுண்ணோக்குக் கருவியை மறுபுறமாக நகர்த்தி 25-ஆவது இருள் வளையத்தில் பொருத்தி அளவைக் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். இதேபோல் நுண்ணோக்குக் கருவியை ஒரே புறமாக 5, 5 இருள்வளையங்களாக நகர்த்திச் சென்று இடப்புறம் 30-ஆவது இருள் வளையத்தின் அளவுவரை குறித்துக்கொள்ளவேண்டும்.

| வளைய எண் | நுண்ணோக்கி அளவு | | விட்டம் $d$ | $d^2$ | $d_m^2 - d_n^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | இடப்புறம் | வலப்புறம் | | | |
| 30 $(m)$ | | | | | |
| 25 $(m_1)$ | | | | | |
| 20 $(m_2)$ | | | | | |
| 15 $(n)$ | | | | | |
| 10 $(n_1)$ | | | | | |
| 5 $(n_2)$ | | | | | |

பின்னர் அட்டவணையின் மற்றக் கட்டங்களையும் கணக்கிட்டு நிரப்பிப் பார்த்தால் கடைசி அடுக்கு ஒரே மதிப்புள்ளதாக இருக்கும். இதனுடைய சராசரி $d_m^2 - d_n^2$ - ஐக் காண வேண்டும். வில்லையின் வளைவு ஆரத்தை ஒரு கோளமாணியைக்கொண்டு கண்டுபிடித்தால் சமன்பாடு 10·32 படி,

$$\frac{d_m^2 - d_n^2}{4R} = (m-n)\lambda \text{ ஆகும்.}$$

அல்லது $\lambda = \dfrac{d_m^2 - d_n^2}{4(m-n)R}$ ... ... 10·33

ஆகையால், $\lambda$ வின் மதிப்புத் தெரியவரும்.

10·21. **திரவங்களின் விலகெண்ணை நியூட்டன் வளைய அமைப்பு முறையில் காணல்:** குறுக்கீட்டு விளைவினால் தோன்றும் நியூட்டன் வளையங்களின் ஆரங்களை அளவிடுதல்மூலம் திரவங்களினுடைய விலகெண்ணைக் கணிக்கலாம். இதற்கு ஒரு துளி திரவம் போதும். நியூட்டன் வளையங்களமைப்பில் வில்லைக்கும் கண்ணாடித் தட்டிற்குமுள்ள இடைவெளியில் $\mu$ விலகெண் கொண்ட ஒரு திரவத்தை வைத்தால் முன்போலவே ஒளி இருள் வளையங்கள் தோன்றும் (படம் 10·19). இப்பொழுது D′ என்ற புள்ளியில் $n$ எண்ணுடைய வளையம் அமைந்திருப்பதாகக் கொண்டால், D′ வழியாகச் சென்று குறுக்கீட்டு விளைவை ஏற்படுத்தும் இரு கதிர்களின் பாதை வேறுபாடு

$$2\mu C'D' \text{ ஆகும்.}$$

இந்த $n$ எண்ணுடைய இருள் வளையத்தின் ஆரம் $P_n$ எனக் கொண்டால் முன்புபோல்

$$2C'D' = \frac{P_n^2}{R} \text{ என்று காட்டலாம். இந்த வளையம்}$$

இருள் வளையமாக அமைய $2\mu C'D' = n\lambda$ ஆக இருக்க வேண்டும். அல்லது

$$\mu\frac{P_n^2}{R} = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad 10·34$$

ஆனால், திரவம் இல்லாதபொழுது '$n$' எண்ணுடைய வளையத்தின் ஆரம் $r_n$ என்றால் சமன்பாடு 10·31-ன்படி,

$$\frac{r_n^2}{R} = n\lambda \text{ ஆகும்.}$$

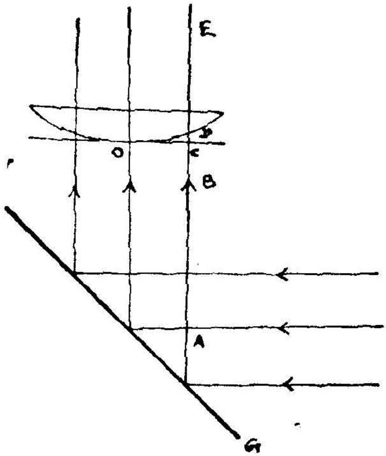
சமன்பாடு 10·34-ஐயும் 10-31-ஐயும் இணைத்தால்

$$\frac{\mu P_n^2}{R} = \frac{r_n^2}{R}$$

$$\mu = \frac{r_n^2}{P_n^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 10·35$$

ஆகையால், ஒரு நியூட்டன் வளைய அமைப்பை ஏற்படுத்தி, முதலில் திரவமில்லாமலும் பின்னர்த் திரவத்தை வைத்தும் வளையங்களின் ஆரத்தை அல்லது விட்டத்தை அளந்து சமன்பாடு 10·35-ஐப் பயன்படுத்தித் திரவத்தின் விலகெண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

10·22 ஒளி கடத்தல் முறையில் நியூட்டன் வளைய அமைப்பு (Newton's rings by transmitted light): ஒளி கடத்தல் முறையில் நியூட்டன் வளையங்களை உண்டாக்கப் படம் 10·20 காட்டியுள்ள அமைப்பு முறையைக் கொள்ளவேண்டும். ஒரு கண்ணாடித் தட்டும் வில்லையும் கொண்ட அமைப்பில் ஒற்றை நிற இணை ஒளிக் கற்றையை நேர்குத்தாகக் கீழிருந்து விழுமாறு செய்யவேண்டும். இவ்வாறு விழும் ஒளிக்கதிர்கள் ஒவ்வொன்றும் பிரிந்து ஒரு பகுதி நேராகவும், ஒரு பகுதி ஓரிரு எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னும் வில்லைக்கும் கண்ணாடித் தட்டிற்குமுள்ள இடைவெளி மென்படலத்தைக் கடந்து சென்று ஒருங்கிணையும். இவ்வாறு இணையும்பொழுது குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படும்.




படம் 10·20

நேர்குத்தாக விழும் ஒளிக்கற்றையில் ABCD என்ற ஒரு கதிரைக் கவனிப்போம். இந்தக் கதிர் D-யில் விழுந்தவுடன் ஒரு பகுதி DE வழியாகக் கடந்து செல்கிறது. ஒரு பகுதி D-யில் DC ஆக எதிரொளிக்கப்பட்டு மீண்டும் C-யை அடைகிறது. இந்தக் கதிர் C-யில் எதிரொளிக்கப்பட்டு D-யில் மீண்டும், DE வழியாகக் கடந்து செல்கிறது. இதனால் ஒரே படுகதிரிலிருந்து ABCDE வழியில் செல்லுகின்ற கதிரும் ABCD CDE வழியில் செல்லுகின்ற கதிரும் கிடைக்கின்றன.

இதில் பாதை வேறுபாடு = 2 CD

ABCD CDE வழியில் செல்லும் கதிரிலேற்படும் இரு எதிரொளிப்புகளும் அடர் ஊடகப் பரப்பில் ஏற்படுவதால் கூடுதலாகக் கிடைக்கின்ற கட்ட வேறுபாடு 2π ஆகும். இது λ பாதை வேறுபாட்டிற்குச் சமம்.

ஆகையால், 2CD = $n\lambda$ எனின் இரு கதிர்களும் வலிவூட்டிக் கொள்ளும் அல்லது 2 CD=$(2n-1)\dfrac{\lambda}{2}$ எனின், ஒன்றை ஒன்று எதிர்த்தழிக்கும். O-விலிருந்து வெளிப்புறமாக நகர்ந்தால் CD-ன் மதிப்பு அதிகமாகும். ஆகையால், ஒன்று விட்டொன்று ஒளி-இருள் வரிகளேற்படும். O-ஐ மையமாகவும் OC-ஐ ஆரமாகவும் கொண்ட வட்டத்திலமையும் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் பாதை வேறுபாடு சமமாக இருப்பதால் ஏற்படுகின்ற ஒளி-இருள் வரிகள் வளையமாக அமையும்.

முன்போல் $r_n$ என்பது '$n$' எண்ணுடைய ஒளி வளையமானால்,

$$\frac{r_n^2}{R} = n\lambda$$

இருள் வளையமானால்,

$$\frac{r_n^2}{R} = (2n-1)\,R$$

எனவுமாகும்.

இந்த அமைப்பில், மையத்தில் பாதை வேறுபாடு சுழியாகவும், கட்டவேறுபாடு 2π ஆகவும் அமைவதால், மையம் ஒளிப்பொலிவுடனிருக்கும்.

10·23 எதிரொளிப்பு, ஒளிகடத்தல், நியூட்டன் வளையங்களை ஒப்பிடல் : ஒற்றை நிற ஒளியில், எதிரொளிப்பு முறையில் வளையங்களின் மையம் இருளாக இருக்கும். ஆனால், ஒளிகடத்தல் முறையில் ஒளிப்பொலிவோடிருக்கும்.

ஏதாவதொரு புள்ளியில் முதல் முறையில் ஒளிவரி ஏற்பட்டால் இரண்டாம் முறையில் இருள் வரி ஏற்படும்; அல்லது இருள்வரி ஏற்பட்டால் ஒளிவரி ஏற்பட்டிருக்கும்.

வெள்ளை நிற ஒளியில், எதிரொளிப்பு முறையில் வளைய அமைப்பின் மையம் இருளாக இருக்கும். ஒளிகடத்தலமைப்பின் மையம் ஒளிப்பொலிவுடனிருக்கும். இரு முறையிலும் மற்றெல்லா வளையங்களும் பல நிறங்களைக் கொண்டிருக்கும். எந்த ஒரு வளையத்திலும் ஏற்படுகின்ற நிறம் இரு முறைகளிலும் ஒன்றுக்கொன்று நிரப்பு முறையிலிருக்கும்.

**10·24.** மென்படலத்திலேற்படும் வண்ணங்கள் (Colours of thin films) : நீர்ப்பரப்பின்மேல் பரவியிருக்கும் மெல்லிய எண்ணெய்ப் படலத்திலோ அல்லது ஒரு மெல்லிய சோப்பு மென்படலத்திலோ வெள்ளை நிற ஒளி எதிரொளிக்கின்றபொழுது அல்லது ஊடுருவும் பொழுது, பல வண்ணங்கள் தோன்றுவதை நாம் காணலாம். இது ஒரு சாதாரண நிறப்பிரிகையின் விளைவாகக் கொள்ளமுடியாது. இது குறுக்கீட்டு விளைவால் ஏற்படும் வண்ணவிளைவு என்று காட்டலாம்.

ஓர் ஒளிபுகு ஊடகத்தின் மென்படலத்தில் மேல்விழும் ஒளி ஒரு பரவலான ஒளிமூலத்திலிருந்து விழுவதாகக் கொள்வோம். இவ்வாறு விழுகின்ற ஒளிக்கற்றைகளின் ஒவ்வோர் ஒளிக்கதிரும் ஒரு பகுதி மேற்பரப்பில் எதிரொளிக்கப்படுகிறது. மறுபகுதி ஊடுருவிச் சென்று பல உள் எதிரொளிப்புகளுக்குப்பின் முதலில் எதிரொளிக் கப்பட்ட ஒளிக்கதிருடன் இணைகின்றது. நாம் பார்க்கின்ற பொழுது இந்த இணைப்பு விழித் திரையில் நிகழும். இவ்வாறு இணையும்பொழுது கதிர்கள் குறுக்கீட்டு விளைவை ஏற்படுத்தும். ஏற்படுகின்ற குறுக்கீட்டு விளைவு ஒருங்கிணையும் கதிர்களின் பகுதி களின் பாதை வேறுபாடுகளுக்கு ஏற்பவும் ஏற்றுக் கொண்ட எதிரொளிப்புகளுக்கு ஏற்பவும் ஆக்க விளைவையோ அல்லது அழித்தல் விளைவையோ ஏற்படுத்தும். எதிரொளிப்பு முறையில் ஆக்க விளைவு ஏற்படுத்த சமன்பாடு 10·21-ன்படி,

பாதைவேறுபாடு $2\mu t \cos r = (2n-1)\dfrac{\lambda}{2}$ ஆகவும், ... 10·22

அழித்தல் விளைவு ஏற்பட சமன்பாடு 21-ன்படி பாதை வேறுபாடு $2\mu t \cos r = n\lambda$ ஆகவும் இருக்கவேண்டும்.

இதில் மென்படலத்தின்மேல் விழும் ஒளி ஒற்றை நிறஒளியாக இல்லாமல் வெள்ளை நிற ஒளியாக இருந்தால் எதிரொளிப்பில் பல வண்ணங்களைக் காட்டும். வெள்ளை நிற ஒளி விடுகின்ற ஒரு புள்ளி யில் படலத்தின், கனம், விலகெண், படுகோணம் முதலியன சிவப்பு நிற ஒளிக்கு வலிவூட்டுவதாக அல்லது $2\mu t \cos r = (2n-1)\lambda_R$ ஆக அமைந்தால், சிவப்புக் கதிர்கள் வலிவூட்டிக்கொண்டு அந்த இடம் சிவப்பாகத் தோன்றும். மற்ற நிறங்கள் தோன்ரு. அதே வெள்ளை ஒளி மென்படலத்தின் மற்ருெரு பகுதியில் பச்சை நிறத் திற்கு வலிவூட்டுவதாக அமைந்தால், அதாவது $2\mu t \cos r = (2n-1)\lambda g$ என்ருல், அந்த இடம் பச்சை நிறமாகத் தோன்றும்; மற்ற நிறங்கள் தோன்ரு. ஆகையால், மென்படலத்தின் வெவ் வேறு பகுதிகள் வெவ்வேறு நிறம் கொண்டனவாகத் தோன்றும்.

நீர்ப்பரப்பின்மேல் ஊற்றப்பட்ட ஒரு துளி எண்ணெய்மெல்லிய படலமாகப் பரவத்தொடங்கும். இவ்வாறு பரவுகின்றபொழுது மென்

படலத்தின் கனம் மாறிக்கொண்டிருக்கும். வெள்ளை நிற ஒளியின் எதிரொளிப்பில் படலத்தைக் காணும்பொழுது, படலத்தின் வெவ்வேறு பகுதியின் நிறங்களும் தொடர்ந்து மாறிக்கொண்டிருக்கும்.

இத்தகைய வண்ண அமைப்பை வெள்ளை நிற ஒளி மென் படலத்தில் ஊடுருவிவரும்பொழுதும் காணலாம். ஆனால், ஊடுருவும் ஒளியில் குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படப் பாதைவேறுபாட்டின் அளவு எதிரொளிப்பு முறையில் ஏற்படத் தேவையான பாதைவேறு பாட்டிலிருந்து மாறுபட்டிருக்கும். அதாவது இதில் பாதை வேறுபாடு $2\mu t \cos r = n\lambda$ ஆனால், ஆக்கல் விளைவும் $2\mu t \cos r = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$ ஆனால், அழித்தல் விளைவும் ஏற்படும் என்று முன்பு கண்டோம்.

ஆகையால், மென்படலத்தின் எந்தப் பகுதியிலும் எதிரொளிப்பு ஒளியில் தோன்றும் நிறங்கள் அதே பகுதியில் ஊடுருவிய ஒளியில் தோன்ரு. அல்லது ஒரு முறையில் தோன்ருத நிறங்கள் எல்லாம் மறுமுறையில் தோன்றும். ஆகையால், ஒன்றுக்கொன்று நிரப்பு முறையாக அமையும்.

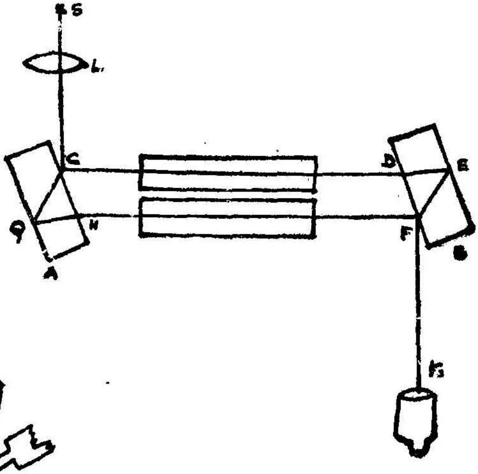
மேலும், ஒரு மென்படலத்தின் கனம் $t$, ஒளி அலை நீளத்தைப் பார்க்கிலும் குறைவாக இருந்தால் எதிரொளிப்பில் ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு $2\mu t \cos r$ அநேகமாக சூழியாக அமையும். ஆனல், கதிரின் ஒரு பகுதி அடர் ஊடகத்தில் எதிரொளிப்பதால் $\pi$ கட்ட வேறுபாடு ஏற்படும். ஆகையால், எதிரொளிப்புக் கதிர்கள் ஒருங்கிணைகையில் குறுக்கீட்டு அழித்தல்விளைவை ஏற்படுத்தும். இதனல் எல்லா நிறங்களுக்கும் பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ ஆக அமைவதால், படலமுழுவதும் இருளாகத் தோன்றும்.

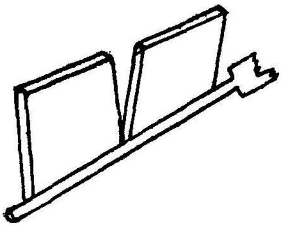
10·25. குறுக்கீட்டு விளைவு மானிகள் (Interfero meters): வாயுக்களின் விலகெண்ணை வெவ்வேறு அழுத்த நிலையிலும், வெப்ப நிலையிலும், மற்றும் பல கரைசல்களின் விலகெண்ணை வெவ்வேறு நிலையிலும், குறுக்கீட்டு விளைவு முறையைப் பயன்படுத்திக் கண்டறியலாம். இவ்வாறு குறுக்கீட்டு விளைவு முறையைக்கொண்டு விலகெண்ணைக் கண்டறிய உதவும் கருவி குறுக்கீட்டு விளைவு மானி (Interfero meters) எனப்படும்.

(1) ஜாமின் குறுக்கீட்டு விளைவு மானி (Jamin's interfero meters): இதில் ஒரே கனமுள்ள A B என்ற இரு சமதளக் கண்ணாடித் தட்டுகள் சற்றுத் தூரத்தில் இணையாக வைக்கப்பட்டுள்ளன (படம் 10·21). S என்ற ஓர் ஒளிமூலத்திலிருந்து வரும் ஒளியை ஒரு வில்லையின்மூலம் இணையாக்கி, இணைக்கற்றை A-ல் 45° கோணத்தில் விழுமாறு செய்யப்பட்டுள்ளது. ஒளியின் ஒரு பகுதி

C-ல் CD ஆக எதிரொளிக்கப்பட்டு, B என்ற தட்டில் D-ல் விழு கிறது. இது இத் தட்டில் ஊடுருவிச்சென்று E-ல் எதிரொளிக்கப் பட்டு மீண்டும் FK வழியாகச் செல்கிறது. மற்ரொரு பகுதி CQHFQ வழியாகச் செல்கிறது. இந்த இரு ஒளிக்கதிர்களும் ஒரு கதிரிலிருந்து பெறப்பட்டதால், இவைகள் குறுக்கீட்டு விளைவை ஏற்படுத்தும். இதனுல் ஏற்படும் வரிகளை ஒரு தொலைநோக்கியைக்கொண்டு KF திசையில் காணலாம்.

இரு தட்டுகளும் இணையாக இருக்கும்பொழுது, இரு கதிர் களின் பாதை நீளமும் ஒன்ருக இருக்கும். ஆகையால், தொலை நோக்கியின் பார்வைப் புலத்தில் குறுக்கீட்டு வரிகள் காணப்படும். இதன் மையவரியைக் கண்ணருகுக் கருவியின் செங்குத்துக் குறுக் கிணைக் கம்பியுடன் பொருத்திக் கொள்ளலாம். இப்பொழுது $t$ கன முள்ள ஓர் ஒளி புகு ஊடகத்தை ஓர் ஒளிக்கதிர் பாதையில் வைத் தால், வரி அமைப்பில் இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படும். $n$ வரிகள் செங்குத் துக் குறுக்கிணைக் கம்பியைக் கடக்கின்றன என்று கண்டால் பாதை யில் நுழைத்த ஊடகத்தின் விலகெண்ணை $(\mu-1)\ t=n\lambda$ என்ற சமன்பாட்டின்மூலம் கணக்கிடலாம்.



படம் 10·21 (b) படம் 10·21 (a)

பொதுவாகக் குறுக்கீட்டு விளைவு மானிகள் வாயுக்களின் விலகெண்ணைப் பல அழுத்த நிலைகளில் அளவிடுவதற்குப் பயன்படுத் தப்படுகின்றன. ஆகையால் இரு ஒரே நீளமுள்ள கண்ணுடிக்

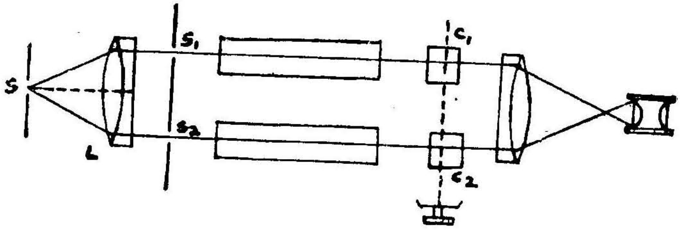
குழாய்கள் இரு புறங்களிலும் ஒரே கனமுள்ள கண்ணாடித் தகட்டினால் மூடப்பட்டு CD, HF இரு கதிர்களின் பாதையிலும் வைக்கப்பட்டுள்ளன. விலகெண் காணவேண்டிய வாயுவை ஒரு குழாயில் உள்ள காற்றை நீக்கியபின் படிப்படியாகப் புகவிட்டுச் செங்குத்துக் குறுக்கிணைக் கம்பியைக் கடந்துசெல்லும் $n$ வரிகளை எண்ணிக் கொண்டால், $t(\mu-\mu_o)=n=\lambda$ என்ற சமன்பாட்டின்படி $\mu$வைக் கணக்கிடலாம் ($\mu_o$ மற்றொரு குழாயிலிருந்த காற்றின் விலகெண்).

இவ்வாறு குறுக்கிணைக் கம்பியைக் கடந்துசெல்லும் வரிகளை எண்ணுவதற்குப் பதிலாக, ஏற்படுகின்ற பாதை வேறுபாட்டை சமன்செய்ய, ஜாமின் ஓர் ஈடுசெய்வியைப் (Jamin's compensator) பயன்படுத்தினார். இந்த ஈடு செய்வி ஒரே கனமுள்ள தட்டிலிருந்து எடுத்த ஒளியியல்பு சமதளக் கண்ணாடித் தட்டுகளை அவற்றின் முகப்புகள் ஒன்றுக்கொன்று சிறு கோணத்தில் விலகி இருக்குமாறு (படம் 10·21 $b$) அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனைக் குறுக்கீட்டுக் கதிர்களுக்கு நேர்குத்தான ஒரு கிடை அச்சில் சுழற்ற முடியும். ஈடுசெய்வியின் கண்ணாடி முகப்புகளுக்கிடையிலுள்ள கோணத்தைச் சமமாகப் பிரிக்கும் தளம் குறுக்கீட்டுக் கதிர்களுக்கு நேர்குத்தாக இருக்கும்பொழுது, இரு கண்ணாடித் தட்டுகளும் ஒரே பாதை தூரத்தை ஏற்படுத்தும். இந்த ஈடு செய்வியைச் சுழற்றுவதன்மூலம் இரு கண்ணாடித் தட்டுகளின் வழியாகச் செல்லும் கதிர்களுக்கிடையில் பாதை வேறுபாட்டைத் தோற்றுவிக்கலாம்.

விலகெண் கண்டுபிடிக்கவேண்டிய வாயுவை ஒரு குழாயில் நுழைத்தபின் வெள்ளை நிற ஒளியைப் பயன்படுத்தினால், மைய வரி, குறுக்கிணைக் கம்பிகளின் மையத்திலிருந்து பெயர்ந்து இருப்பதைக் காணலாம். ஈடுசெய்வியைச் சுழற்றி மைய வரியை மீண்டும் குறுக்கிணைக் கம்பி மையத்திற்குக் கொண்டுவந்து பெயர்ச்சியைச் சமன் செய்யலாம். ஈடுசெய்வியின் சுழற்சியை விலகெண்ணாகவே அளவீடு செய்திருந்தால், வாயுவின் விலகெண்ணை நேராகக் கண்டு கொள்ளலாம்.

(2) இராலே விலகெண் மானி (Rayleigh's refractometer) : ராலே விலகெண் மானி அமைப்புமுறையில் S என்ற ஒளியூட்டப்பட்ட பிளவை ஒரு குவியச்செய்யும் வில்லையின் குவியத்தில் வைத்து வில்லையிலிருந்து வெளிவரும் இணைக்கதிர்கள் $S_1$, $S_2$ என்ற இரு பிளவுகள்வழியாக இருகுழாய்களினுள் ஊடுருவுமாறுசெலுத்தப்படும். $S_1$, $S_2$ வழியாக வெளிவரும் ஒளிக்கற்றைகளில் ஒரு பகுதி குழாய் மூலமும் ஒரு பகுதி குழாய்களுக்கு மேல் வெளியிலும் செல்லுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. குழாய்மூலம் செல்லும் ஒளிக்கற்றைகள் ஒரு ஜாமின் ஈடுசெய்வியின்வழியாகவும் குழாய்க்கு வெளியில் செல்லும்

ஒளிக்கதிர் நேராகவும் சென்று ஒரு குவிவில்லையின்மூலம் குவிக்கப் படுகிறது (படம் 10·22).

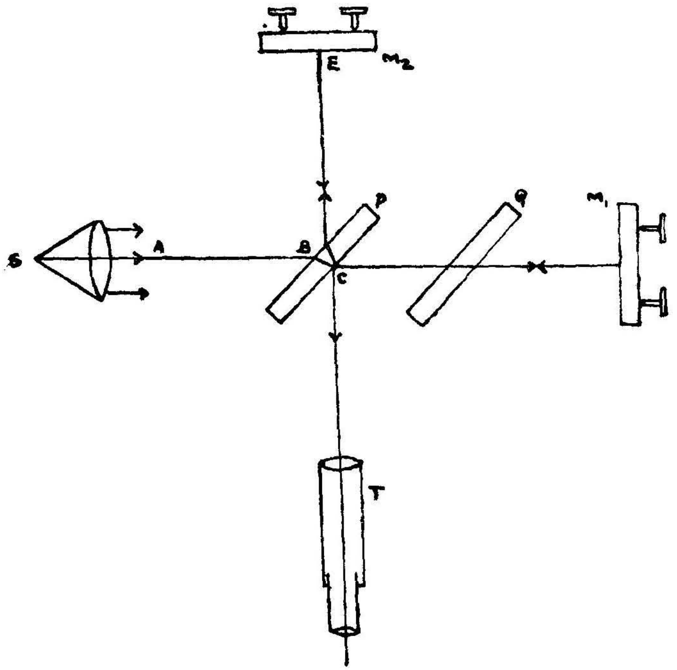



படம் 10·22

குவிக்கப்படும் இந்த ஒளியை ஒரு கண்ணருகுக் கருவியின்மூலம் கண்டால் ஒன்றின்மேலொன்றுக இரு வரி அமைப்புகள் தோன்றும். இதில் கீழுள்ள அமைப்பு குழாய்கள்மூலம் வரும் ஒளியிலிருந்தும், மேலே உள்ள அமைப்பு குழாய்களுக்கு வெளியே வருகின்ற ஒளியிலும் ஏற்படுகின்றன. இந்த இரு பகுதி ஒளிகளுக்கும் பாதை நீளங்கள் ஒன்றுக அமைந்தால், இரு அமைப்புகளின் மைய வரிகளும் ஒன்றின்மேலொன்று பொருந்தியிருக்கும். ஒரு குழாயினுள் விலகெண் காணவேண்டிய வாயுவைப் பாயச் செய்தால் குழாய் வழி செல்லும் ஒளிப்பகுதியின் பாதைநீளம் வேறுபட்டு, மைய வரி நகர்ந்து செல்லும். ஈடுசெய்வியைச் சுழற்றி நகர்ந்து சென்ற கீழ் மைய வரியை மீண்டும் மேல் மைய வரியுடன் ஒன்றி இணையச் செய்தால் ஈடுசெய்வி காட்டுகின்ற விலகெண், நுழைக்கப்பட்ட வாயுவின் விலகெண்ணுகும்.

(3) மைக்கல்ஸன் குறுக்கீட்டு விளைவுமானி (Michelson's interfero meter): மைக்கல்ஸன் குறுக்கீட்டு மானி எவ்வாறு செயல் படுகிறது என்பதைப் படம் 10·23 விளக்குகிறது. இதில் $M_1$, $M_2$ இரண்டும் முன்புறம் முழுமையாக ரசம் பூசப்பட்ட ஒளியியல்பு சமதள ஆடிகள் P, Q ஒரே ஒளியியல்பு சமதளக் கண்ணுடியில் வெட்டப்பட்டு ஒன்றுக்கொன்று இணையாக வைக்கப்பட்ட இரு கண்ணுடித் தட்டுகளாகும். $M_1$, $M_2$, P, Q எல்லாம் தரைதள அடிப்படையில் செங்குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ளன. P தட்டில் Q-வைப் பார்த்துக்கொண்டிருக்கும் பரப்பு அரைகுறையாக ரசம் பூசப்பட்டுள்ளது. $M_1$ நிலையாக அமைக்கப்பட்டுள்ளது. ஆனல், $M_2$ ஒரு திருகினுல் இயக்கக்கூடிய நகரும் அமைப்பில் பொருத்தப் பட்டுள்ளது. இந்தத் திருகைக்கொண்டு $M_2$-ஐ முன்புறமோ பின் புறமோ அதற்கு இணையாக நகர்த்த முடியும். S-லிருந்து வரும் ஒளி ஒரு குவி வில்லையால் இணைக்கற்றையாக்கப்பட்டு P-ல் விழுகிறது. உதாரணமாக AB என்ற கதிர் P-ல் விழுவதாகக் கொள்வோம். இந்தக் கதிரில் ஒரு பகுதி P தட்டில் C-ல் எதிரொளிக்கப்பட்டு CE

பாதையில் சென்று $M_2$-ல் நேர்குத்தாக விழுகிறது. இது அதே பாதையில் எதிரொளிக்கப்பட்டு P-ல் ஊடுருவி CF வழியாகச் செல்லும். AB-ன் மறுபகுதி P, Q இரு தட்டுகளின் வழி ஊடுருவி நேர்குத்தாக $M_1$-ல் எதிரொளிக்கப்பட்டு அதே பாதை




படம் 10·23

யில் மீள்கிறது. இந்தக் கதிர் மீண்டும் P தட்டில் C-ல் CF திசையில் எதிரொளிக்கப்படுகிறது. இந்த இரு கதிர்களும் ஒரே கதிரிலிருந்து பிரிக்கப்பட்டதால் இவை இரண்டும் குறுக்கீட்டு விளைவை ஏற்படுத்தும். இந்தக் குறுக்கீட்டுப் பாங்கை ஒரு தொலைநோக்கியின் மூலம் காணமுடியும். அரைகுறையாக ரசம் பூசப்பட்ட P கண்ணாடியில் ஏற்படும் $M_1$ ஆடியின் பிம்பம் $M_2$-வுடன் ஒன்றுபட்டால், குறுக்கீட்டு விளைவை ஏற்படுத்தும் இரு கதிர்களின் பாதை நீளங்களும் சமமாகும். ஆனால் $M_2$-ல் விழும் கதிர் P-ல் இருமுறை கூடுதலாக ஊடுருவுகிறது. இந்தப் பாதை நீளத்தை சமன்படுத்த Q-வை P-க்கு இணையாகப் பொருத்தினால் இரு கதிர்களின் பாதை நீளங்களும் சமமாகும். ஆகையால் Q சமன் செய்யும் தட்டு என்று அழைக்கப்படும்.

மேலும் $M_2$-விருந்து வரும் கதிர் P-ல் உட்புறமும், $M_1$-லிருந்து வரும் கதிர் P-ல் வெளிப்புறத்திலும் எதிரொளிப்பதால் இரு கதிர்களுக்குமுள்ள கட்டவேறுபாடு $\pi$ ஆகும். ஆகையால், இரு கதிர்களின் பாதை நீளங்கள் ஒன்றாக இருந்தபோதிலும் மையவரி இருளாக இருக்கும். $M_2$-வின் நகரும் அமைப்பைப் பயன்படுத்தி C-யிலிருந்து $M_1$, $M_2$ இரண்டும் சமதூரத்திலிருக்குமாறு செய்ய வேண்டும். ஒரு சோடியம் விளக்கிலிருந்து ஒளியை ஒரு சிறு துளை வழியாக P-ல் விழச் செய்து, ஒரு தொலைநோக்கியின் வழியாகக் காணும்பொழுது துளையின் மூன்று பிம்பங்கள் தெரியும். ஒன்று P-ன் முன்பரப்பிலும் $M_2$ விலும் எதிரொளிப்பு ஏற்பட்டுக் கிடைப்பது. இது ஒளிப்பொலிவு குறைந்திருக்கும். மற்றொன்று P-ன் பின்புறத்திலும் $M_2$-விலும் ஏற்படும் எதிரொளிப்பால் கிடைப்பது. மூன்றுவது பிம்பம் முதலில் $M_1$-லும் பின்னர் P-யின் பின்புறத்திலும் எதிரொளிக்கப்பட்டுக் கிடைப்பது. பின் இரண்டும் ஒளிப் பொலிவுடனிருக்கும். $M_1$, $M_2$ இவற்றுடன் உள்ள திருகுகளைப் பயன்படுத்தித் தளங்களை சமன்செய்து பின்னிரு பிம்பங்களையும் ஒன்றாக இணையச் செய்ய வேண்டும். இப்பொழுது $M_1$ தளமும், $M_2$ தளமும், பிம்பத்தின் தளமும் இணையாக ஆகும். இப்பொழுது சிறு துளையை நீக்கி சோடியம் விளக்கிலிருந்து ஒளியை நேராக விழச் செய்து பார்த்தால் குறுக்கீட்டு விளைவுவரிகள் பொது மைய வளையங்களாகத் தெரியும்.

$M_1$ $M_2$ இரு ஆடிகளாலும் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளிக்கதிர்கள் இரு சமதள ஊடகத்தில் எதிரொளிக்கப்பட்டுக் குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படுத்துவதுபோல் குறுக்கீட்டு விளைவு வளையங்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இந்த வளையங்கள் சம சாய்வில் ஏற்படும் குறுக்கீட்டு வரிகளின் வகையில் சேரும். இந்த வளையங்கள் எண்ணில்லாத் தொலைவில் ஏற்படுவதால், தொலை நோக்கியாலோ அல்லது கண்ணால் நேராகவோ காணலாம்.

மைக்கல்ஸன் குறுக்கீட்டு விளைவு மானியைக்கொண்டு (1) ஒற்றைநிற ஒளியின் அலை நீளத்தை அளக்கலாம். (2) சோடியம் நிறமாலையில் ஏற்படும் இரு வரிகளுக்கிடையிலுள்ள அலைநீள வேறுபாட்டைக் காணலாம்.

*(அ)* ஒற்றை நிற ஒளியின் அலை நீளத்தை அளத்தல் : குறுக்கீட்டு விளைவு வளையங்களின் ஓர் ஒளி வளையத்தைக் குறுக்கிணைக் கம்பியுடன் பொருத்தி $M_2$-வுடன் பொருத்தப்பட்டுள்ள அளவுச் சட்டத்தில் உள்ள நுண்ணளவு மானியினால் அளவைக் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். பின்னர் $M_2$ பொருத்தப்பட்டுள்ள நகரும் அமைப்பின் திருகின்மூலம் $M_2$-வை நகர்த்தவேண்டும். நகர்த்தும்பொழுது குறுக்கிணைக் கம்பிகளைக் கடந்து செல்லும் '*n*' வரிகளை எண்ணிக்கொள்ளவேண்டும், $M_2$ நுண்ணளவு மானியின்

அளவைக் குறித்துக்கொண்டு $M_2$ நகர்ந்த தூரத்தைக் கணக்கிட்டு $d$ என்று கண்டால்,

$$2d = n\lambda \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{அல்லது } \lambda = \frac{2d}{n} \text{ ஆகும்.}$$

(ஆ) ஒன்றுக்கொன்று அருகருகாக உள்ள இரு நீள அலைகளின் வேறுபாட்டைக் காணல் : இரு அலை நீளங்கள் முறையே $\lambda_1$, $\lambda_2$ எனக் கொள்வோம். இந்த இரு அலைகளும் குறுக்கீட்டு விளைவினை ஏற்படுத்தும். $M_2$வை நகர்த்தி, ஒரு நிலையில் வளையங்கள் மிகத் தெளிவாகவும், பொலிவாகவும் இருப்பதைக் காணலாம். இந்த நிலையில் இரு நீள அலைகளின் ஒளிவரியும் ஒன்றுடன் ஒன்று இணைந்துள்ளன. இப்பொழுது $M_2$ நுண்ணளவு மானியின் அளவை எழுதிக் கொள்ளவேண்டும். $M_2$-ன் திருகைப் படிப்படியாக நகர்த்தினால் ஒரு நிலையில் வளைய அமைப்பு மறைந்துவிடும். இந் நிலையில் ஒரு நீள அலையின் ஒளிவளையம் மற்றொரு நீள அலையின் இருள்வளையத்துடன் இணைந்திருக்கும். திருகை மேலும் நகர்த்தினால் மறுபடியும் இரு நீள அலைகளால் ஏற்படும் ஒளிவளையங்களும் ஒன்றுடனொன்று இணையும். இந்த நிலையில் $M_2$ நுண்ணளவு மானியின் அளவைக் குறித்து, $M_2$ நகர்ந்த தூரம் $d$-ஐக் கண்டுகொள்ளலாம். ஆகையால், ஒளி கடந்த தூரம் $2d$ ஆகும். இந்தத் தூரத்தில் $\lambda$ ஒளி அலை $n$ முறையும் $\lambda_2$ நீள அலை $(n+1)$ முறையும் அமையப் பெற்றுள்ளதாகக் கொள்ளப்படும். ஆகையால்,

$$2d = n\lambda_1 = (n+1)\lambda_2$$

இந்தச் சமன்பாடுகளிலிருந்து '$n$'-ஐ நீக்கினால்

$$n(\lambda_1 - \lambda_2) = \lambda_2$$

$$\text{அல்லது } \lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda_2}{n} = \frac{\lambda_2\lambda_1}{2d}$$

$$\text{ஆனால், } \lambda_2 \approx \lambda \text{ ஆக இருப்பதால்}$$

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \frac{\lambda^2}{2d} \text{ ஆகும்.}$$

இதிலிருந்து இரு நீள அலைகளின் வேறுபாட்டையும் கணக்கிடலாம்.

மேலும், இந்தக் குறுக்கீட்டு விளைவு மானியைப் பயன்படுத்தி மீட்டரின் அளவுகோலைப் படித்தரமாக்க முடியும்.

## மாதிரிக் கணக்குகள்

1. ஒன்றுக்கொன்று 3 மி. மீ இடைவெளியுள்ள இரு இணையான குறு பிளவுகள் ஒற்றை நிற ஒளியால் ஒளியூட்டப்பட்டுள்ளன.

பிளவுகளிலிருந்து 30 செ. மீ. தொலைவில் குறுக்கீட்டு விளைவு வரிகள் கிடைக்கின்றன. வரி அகலத்தைக் கண்டுபிடி (ஒற்றை நிற ஒளி யின் அலைநீளம் 5,900 ஆ. அ.)

சமன்பாடு 10·3-ன் படி,

$$\text{வரி அகலம்} = \frac{D\lambda}{d}$$

$$= \frac{30 \times 5{,}900 \times 10^{-8}}{\cdot 3}$$

$$= 0{\cdot}0059 \text{ செ. மீ.}$$

$$= 0{\cdot}059 \text{ மி. மீ.}$$

2. ஒரு ஃப்ரனெல் இரட்டைப் பட்டகச் சோதனைமுறையில் குறு பிளவிலிருந்து 100 செ. மீ. தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ள நுண் ணளவுக் கருவியின் பார்வைப்புலனில் 0·18 மி. மீ. அகலம் கொண்ட குறுக்கீட்டு வரிகள் ஏற்பட்டுள்ளன. இரட்டைப் பட்டகத்திற்கும் நுண்ணளவுக் கருவிக்குமிடையில் ஒரு குவி வில்லையை வைத்தால், குவி வில்லை இரு இடங்களில் வைக்கப்படும்பொழுது, சிறுபிளவின் பிம்பங்கள் கிடைக்கின்றன. குவிவில்லையின் ஒரு நிலையில் பிம்பங் களின் இடைதூரம் 4·05 மி. மீ.-ம் மற்றொரு நிலையில் பிம்பங்களின் இடைதூரம் 2·90 மி. மீ.-ம் உள்ளன. பயன்படுத்தப்பட்ட ஒளி அலை நீளத்தைக் கணக்கிடுக.

இரு குறு பிளவுக்கிடைதூரம்,

$$d = \sqrt{d_1 d_2}$$

$$= \sqrt{\cdot 405 \times \cdot 29}$$

$$\text{வரி அகலம் } \beta = \frac{D\lambda}{d}$$

$$\text{அல்லது} \quad \lambda = \frac{0{\cdot}018 \times \sqrt{\cdot 409 \times \cdot 29}}{100}$$

$$= 6{\cdot}199 \times 10^{-5} \text{ செ. மீ.}$$

$$= 6199 \text{ ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு.}$$

3. ஒரு நிற ஒளியூட்டப்பட்ட குறுபிளவிலிருந்து 50 செ. மீ. 1·5 விலகெண்ணுடைய ஊடகத்தாலான இரட்டைப்பட்டகம் வைக் கப்பட்டுள்ளது. பட்டகத்திலிருந்து 150 செ. மீ. தொலைவில் ஏற்படு கின்ற குறுக்கீட்டு வரிகளின் அகலம் 0·4 மி. மீ. ஆகக் காணப்படு கிறது. பட்டகத்தின் விரி கோணம் 179° 20′ ஆக இருந்தால், பயன் படுத்தப்பட்ட ஒளியின் அலைநீளத்தைக் கணக்கிடுக.

சமன்பாடு 10·6a-ன் படி

இரு மாய மூலங்களுக்கிடையிலுள்ள தூரம்,

$$d = x(\mu - 1)\theta$$

$$= 50(1{\cdot}5 - 1)\frac{40}{60} \times \frac{180}{\pi}$$

வரி அகலம் $\beta = \dfrac{\lambda D}{d}$

$$\lambda = \frac{\beta d}{D}$$

$$= 0{\cdot}04 \times 50 \times {\cdot}5 \times \frac{40}{60} \times \frac{180}{\pi}$$

$$= 5816 \text{ ஆ. அ.}$$

(இந்தக் கணக்கில் பயன்படுத்தும் சமன்பாட்டில் ரேடியன் அளவிலிருப்பதால், 40-ஐ ரேடியனளவிற்கு மாற்றிக்கொள்ள வேண்டும்).

4. $6{\cdot}3\times10^{-4}$ செ. மீட்டர் கனமுள்ள ஓர் ஒளிபுகும் தட்டைக் குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படுத்தும் ஒளிக்கற்றைகள் ஒன்றில் நுழைத்தால், மையவரி முதலில் 6 ஆவது ஒளிவரி இருந்த நிலைக்கு நகர்த்தப்படுகிறது. ஒளியின் அலைநீளம் 5,460 ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு ஆனால், மென்தட்டின் ஒளிவிலகெண்ணைக் காண்.

$$x_0 = \frac{\beta}{\lambda}(\mu - 1)t$$

ஆனால், $x_0 = 6\beta$, $\lambda = 5{,}460 \times 10^{-8}$ செ மீ.

$$t = 6{\cdot}3 \times 10^{-4} \text{ செ. மீ.}$$

$$6\beta = \frac{\beta(\mu - 1)\, 6{\cdot}3\times10^{-4}}{5{,}400\times10^{-8}}$$

$$\lambda = \frac{6\times5{,}400\times10^{-8}}{6{\cdot}3\times10^{-4}} + 1 = 1{\cdot}52$$

5. ஒரு நியூட்டன் வளைய சோதனையில் 5 ஆவது வளையத்தின் விட்டம் 0·336 செ.மீ. ஆகவும், 15 ஆவது வளையத்தின் விட்டம் 0·590 செ. மீ. ஆகவும் உள்ளன. நியூட்டன் வளையம் ஏற்படுத்தும் குவிவில்லையின் வளைவு ஆரம் 100 செ. மீ. ஆக இருந்தால், ஒளியின் அலைநீளத்தைக் கணக்கிடுக.

$$D_5 = 0{\cdot}336 \text{ செ. மீ.}$$

$$D_{15} = 0{\cdot}590 \text{ செ. மீ.}$$

$$R = 100 \text{ செ. மீ.}$$

$$\lambda = \frac{D_{15}^2 - D_5^2}{4\times100\times10} = 5{,}880 \times 10^{-8} \text{ செ. மீ.} = 5{,}880 \text{ ஆ. அ.}$$

பயிற்சி :

1. குறுக்கீட்டு விளைவு என்றால் என்ன என்பதைத் தெளிவாக விளக்கவும் இரு ஒளிக்கற்றைகள் குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படுத்து வதற்குத் தேவையான நிபந்தனைகள் யாவை ?

2. ஓரியல் ஒளிமூலங்கள் என்றால் என்ன ? எவ்வாறு ஓரியல் ஒளிமூலங்களைப் பெறமுடியும்?

3. இரட்டைப் பட்டக முறையில் ஒளியின் அலைநீளத்தைக் காணுவதற்கான முறை, கணக்கிடும் முறையுடன் விளக்கு.

4. குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படுத்தும் ஒளிக்கற்றைகள் ஒன்றின் வழியில் ஓர் ஒளிபுகும் மென்தட்டை நுழைப்பதால், குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தின் மைய வரியில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சிக்கு ஒரு சமன் பாடு காண்.

5. நியூட்டன் வளையங்கள் என்றால் என்ன ? அவை ஏற்படும் முறையை விளக்கிக் கூறு. அதனால், ஒரு குவிவில்லையின் வளைவு ஆரத்தைக் காண்பதெப்படி ?

6. நியூட்டன் வளையமுறையில் எவ்வாறு ஒரு திரவத்தின் விலகெண்ணைக் கண்டுபிடிக்க முடியும் ?

7. ஒரு மென்படலத்தில் ஏற்படும் ஒளியின் நிறமாற்றங்கள் ஏற்படுவதை விளக்கிக் கூறு.

8. 5,890 ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு அலைநீளம் கொண்ட சோடியம் விளக்கின் ஒளி, 1·5 விலகெண் கொண்ட ஒரு மென் கண்ணாடித் தட்டில், விலகு கோணம் 60 ஆக அமையுமாறு விழுகிறது. எதிரொளிப்பு முறையில் கண்ணாடித் தட்டு இருளாகத் தெரிய வேண்டுமாயின், அதன் குறைந்த கனத்தைக் கண்டுபிடி.

9. ஒரு நியூட்டன் வளையச் சோதனையில் இடைவெளியில் உள்ள காற்றுக்குப் பதில் 1·3 விலகெண் கொண்ட திரவம் வைக்கப் பட்டால் எந்த விதத்தில் இரு நிலைகளிலும் வளையங்களின் ஆரங்கள் அமைந்திருக்கும்?

10. ஓர் இரட்டைப் பட்டகச் சோதனையில் பிளவிலிருந்து 100 செ. மீ. தொலைவில் வரி அகலம் 0·0196 செ.மீ. ஒரு குவிவில்லையைப் பிளவிலிருந்து 30 செ. மீ. தொலைவில் வைத்தால், இரு ஒளி மூல பிம்பங்களுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு 0·70 செ. மீ. ஒளியின் அலை நீளத்தைக் கணக்கிடுக.

# 11. விளிம்பு விளைவு

## (DIFFRACTION)

11·1 அலையியக்கக் கொள்கையானது, எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல், குறுக்கீட்டு விளைவு போன்ற பௌதிக உண்மைகளைத் தெளிவான (திருப்தி அளிக்கின்ற) முறையில் விளக்கியதைக் கண்டோம். ஒரு தொட்டியிலுள்ள நீர்ப் பரப்பில் ஏற்பட்டுப் பரவும் சிற்றலையின் வழியில் ஒரு தக்கையை மிதக்க விட்டிருந்தால் சிற்றலைகள் அந்தத் தக்கையிலிருந்து விலகி வளைந்து பரவுவதைக் காணலாம். ஒளி அலையியக்கத்தின்மூலம் பரவுவதாகக் கொண்டால் அதன் வழியில் ஏற்படும் தடைகளை வளைந்து கடந்து சென்று பரவவேண்டும். ஆனால், ஒளி நேர்கோட்டு வழி செல்வதையும், தடை ஏற்படுகின்ற இடத்து அது வளைந்து சென்று பரவாததையும், தடையினால் ஏற்படுகின்ற நிழல் நமக்குக் காட்டுகின்றது. ஆகையால், ஒளி அலையியக்கம் மூலம் சென்று பரவுவதாகக் கொள்ளவேண்டுமானால் முதலில் அலையியக்கக் கொள்கையைக் கொண்டு ஒளியின் நேர்கோட்டுப் பரவுதலை விளக்கவேண்டும்.

### 11·2. ஒளியின் நேர்கோட்டுப் பரவுதலுக்கு ஃப்ரனெல் விளக்கம் (Fresnel's explanation of rectilinear propogation)

அலையியக்கக் கொள்கையை முதலில் ஹைஜயன் உருவாக்கினார் என்றாலும் அவரால் ஒளியின் நேர்கோட்டுப் பரவலுக்கு அக் கொள்கையைக் கொண்டு விளக்கம் தர இயலவில்லை. பின்னர் ஃப்ரனெல் என்பவர் அக் கொள்கையைக்கொண்டு ஒளி நேர்கோட்டில் பரவுவதை விளக்கமுடியுமென்று காட்டினார். நேர்கோட்டுப் பரவுதலை, விளக்கவேண்டுமானால், ஒளிப்பாதையில் வைக்கப்படும் எந்தவொரு சிறு பொருளும் எவ்வாறு மறுபுறத்தில் தன்னுடைய நிழலை ஏற்படுத்துகிறது என்று அலையியக்கக் கொள்கையைக்கொண்டு விளக்கவேண்டும்.

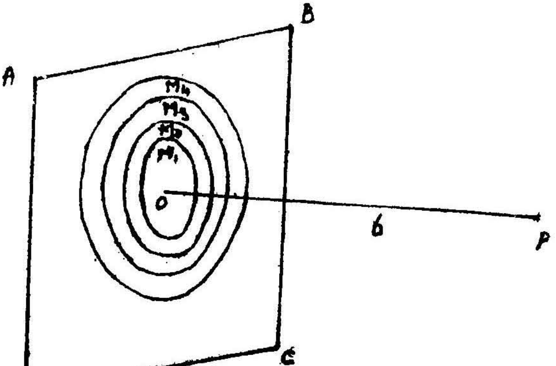
படம் 11·1-ல் ABCD ஒரு சமதள அலைமுகப்பைக் குறிக்கும். சமதள அலைமுகப்பிற்கு வலப்புறம் P என்ற புள்ளியிலேற்படும் ஒளிச்செறிவு, இந்த சமதள அலைமுகப்பிலிருந்து கிளம்பும் இரண்டாம்

நிலை அலைக்குட்டிகளினால் ஏற்படும் விளைவாகும். முதலில், இந்த விளைவு என்ன என்பதைக் காண்பதற்கு ABCD என்ற அலை முகப்பை அரை அலைவு நேர மண்டிலங்களாகப்(half period zones) பிரிக்கவேண்டும். இதற்கு P- யிலிருந்து அலைமுகப்பிற்கு P O என்ற குத்துக்கோடு வரைவோம். PO, b-க்குச்சமமென்று கொண்டு P-ஐ மையமாகவும் $(b+\frac{\lambda}{2})$ ஆரமாகக் கொண்டு ஒரு கோளம் வரைந்ததால் அந்தக் கோளம் அலைமுகப்பை $M_1$ வட்டத்தில் வெட்டும். ஆகையால்,

$$PM_1 = b + \frac{\lambda}{2}$$

$$PM_1 - PO = \frac{\lambda}{2}$$

O-விலிருந்தும் $M_1$- லிருந்தும் (அல்லது வட்டப்பரிதியின் எந்தப் பகுதியிலிருந்தும்) ஒரே நேரத்தில் கிளம்பி ஒரே ஒரே நேரத்தில் P-ஐ அடையும் அலைக்குட்டிகள் ஒன்றுக்கொன்று $\pi$ கட்ட வேறுபாட்டிலிருக்கும்.




படம் 11·1

மேலும் P-ஐ மையமாகவும் $b + \frac{2\lambda}{2}$ ; $b + \frac{3\lambda}{2} \ldots b + \frac{n\lambda}{2}$ இவற்றை ஆரங்களாகவும் கொண்டு கோளங்கள் வரைந்தால் இந்தக் கோளங்கள் சமதள அலைமுகப்பை $M_2$ $M_3$, ... $M_n$ என்ற பல வட்டங்களில் வெட்டும்.

$M_1$-க்குள் இருக்கும் வட்டப்பகுதி முதல் மண்டிலமாகும். $M_2$-க்கும் $M_1$-க்கும் இடையிலுள்ள வளையப்பகுதி இரண்டாவது மண்டிலம். இதேபோல் ஒவ்வொரு வளையப்பகுதியும் ஒவ்வொரு

மண்டிலமாகும். எந்தவொரு மண்டிலத்தின் ஒரு புள்ளியிலிருந்து கிளம்புகின்ற இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டியும் அதற்கடுத்த மண்டிலத்தில் ஒத்த புள்ளியிலிருந்து கிளம்பும் அலைக்குட்டியை விட, அரை அலைவுநேரம் முன்னதாக P-ஐச் சென்றடையும். ஆகையால் ஒவ்வொரு மண்டிலமும் அரை அலைவு நேர மண்டிலங்களெனப்படும் (half period zones). $M_1$ மண்டிலத்திலிருந்து ஓர் அகடு P-ஐ அடைந்தால், $M_2$ விலிருந்து ஒரு முகடு P-ஐ வந்தடையும். இதேபோல் $M_1$ மண்டிலத்தின் எந்தப் புள்ளியிலிருந்து ஓர் அகடு P-ஐ அடைந்தாலும் அதற்கிணையாக $M_2$ மண்டிலத்தின் ஒரு புள்ளியிலிருந்து ஒரு முகடு P-ஐ அடையும். ஆகையால் அடுத்தடுத்த மண்டிலங்களிலிருந்து வரும் அலைக்குட்டிகள் ஒன்றையொன்று அழிக்க முற்படும். ஒன்று விட்டொன்றிலிருந்து வரும் அலைக்குட்டிகள் ஒன்றுடன் ஒன்று வலிவூட்டும்.

'n' எண்ணுடைய அரை அலைவு நேர மண்டிலத்தின் பரப்பு $An$ என்று கொண்டால்

$$An = \pi\, r_n^2 - \pi\, r^2_{(n-1)}$$

$r_n, r_{n-1}$ இரண்டும் $n, (n-1)$ அரை அலைவு நேர மண்டிலங்களின் ஆரங்களாகும்.

$$\begin{aligned} An &= \pi\,[\, r_n^2 - r^2_{n-1} \\ &= \pi\,[\,(PM_n^2 - b^2) - (PM^2_{n-1} - b^2)] \\ &= \pi\,[PM^2_n - PM^2_{n-1}] \\ &= \pi\,[\,(b + n\,\lambda/2)^2 - (b + (n-1)\,\lambda/2)^2] \\ &= \pi\,[b^2 + n^2\frac{\lambda^2}{4} + 2\,b\,n\frac{\lambda}{2} \\ &\qquad - (b^2 + (n-1)^2\frac{\lambda^2}{4} + 2\,b\,(n-1)\frac{\lambda}{2}\,)] \quad \ldots 11.1 \\ &= \pi\, b\,\lambda \end{aligned}$$

($\frac{\lambda^2}{2}$ மிகக்குறைவான, மதிப்புடையதாகையால், அந்த உறுப்புகள் விலக்கப்பட்டன.) $n$ மண்டிலத்தின் பரப்பு $\pi\, b\,\lambda$ என ஆகிறது. இதில் $n$ ஈடுபாடில்லாததால், எல்லா மண்டிலங்களும் இதே பரப்பளவுதான் கொண்டிருக்கும் என ஆகிறது.

ஒவ்வொரு மண்டிலத்திலிருந்தும் கிளம்பிச் செல்லும் அலைக்குட்டிகள் P-ல் உள்ள துகளில் அலைவு இயக்கத்தைத் தோற்றுவிக்கும். இவ்வாறு ஒவ்வொரு மண்டிலங்களிலுள்ள அலைக்குட்டிகளால் தோற்றுவிக்கப்படும் அலைவு இயக்கங்களின் தொகுப்பு அலைவீச்சுகள் முறையே $d_1, d_2, d_3\ldots$ எனக் கொள்வோம். மேலும் ஒவ்வொரு மண்டிலத்திலிருந்து வரும் அலைக்குட்டிகளும் $\pi$

கட்ட வேறுபாட்டிலிருப்பதால் இந்தத் தொகுப்பு அலைவீச்சுகளின் கூடுதல்

$$D = d_1 - d_2 + d_3 - d_4 + \dots \dots \dots \quad 11{\cdot}2$$

P-ல் ஒவ்வொரு மண்டிலத்தாலும் ஏற்படும் தொகுப்பு அலைவீச்சு,

(1) அந்த மண்டிலத்தின் பரப்பிற்கு ஏற்ப இருக்கும். பரப்பளவு அதிகமாக ஆக, P-ல் ஏற்படும் தொகுப்பு அலைவீச்சும் அதிகமாகும்.

(2) அந்த மண்டிலத்திலிருந்து P-ன் தொலைவைப்பொறுத்திருக்கும். தொலைவு அதிகரிக்க அதிகரிக்கத் தொகுப்பு அலைவீச்சுக் குறையும் [ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு அந்த இடத்தில் விழும் ஒளியின் தொகுப்பு அலைவீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். செல்லும் தொலைவு அதிகரித்தால், ஒளிவிளக்கம் குறையும் என்பதை லாம்பர்ட்டின் இருமடி விதி மூலம். (1·9 அ) கண்டோம்].

(3) P-யிலிருந்து அந்த மண்டிலத்திற்கு வரையப்படும் நேர் குத்துடன், அந்த மண்டிலம் அமைக்கும் சாய்வைப் பொறுத்திருக்கும் [சாய்வுத்தன்மை அதிகரித்தால், ஒளிவிளக்கம் குறையும் என்பதை லாம்பர்ட்டின் கொசைன் விதி (1·9 ஆ) விளக்குகிறது].

ஆகையால் $d_1$, $d_2$, $d_3$.... முதலிய அலைவீச்சுகள் பரப்பின் காரணமாகச் சமமாக இருந்தாலும் P-யிலிருந்து மண்டிலங்களின் தொலைவு படிப்படியாக அதிகரிப்பதாலும் P-க்கு அவைகளின் சாய்வுத் தன்மை படிப்படியாக அதிகரிப்பதாலும் படிப்படியாக இவை குறைந்துகொண்டே வரும்.

அதாவது $d_1 > d_2 > d_3 > d_4 \dots > dn$ என ஆகும். அல்லது

$$\frac{d_1}{2} + \frac{d_3}{2} = d_2$$ எனக் கொள்ளலாம்.

ஆகையால் சமன்பாடு 11·2-ன்படி

$$D = d_1 - d_2 + d_3 - d_4 + \dots \dots$$

$$= \frac{d_1}{2} + \left(\frac{d_1}{2} - d_2 + \frac{d_3}{2}\right) + \left(\frac{d_3}{2} - d_4 + \frac{d_5}{2}\right) + \dots \pm \frac{dn}{2}$$

ஆனால் $\left(\frac{d_1}{2} - d_2 + \frac{d_3}{2}\right) = \left(\frac{d_3}{2} - d_4 + \frac{d_5}{2}\right) = \dots = 0$

$$D = \frac{d_1}{2} \pm \frac{dn}{2}$$ என ஆகும்.

அலைவீச்சுகள் படிப்படியாகக் குறைந்துகொண்டு வருவதால் $\frac{dn}{2}$ மிகக் குறைவாக இருக்கும். ஆதலால்,

$dn << d_1$

ஆகவே, $D = \frac{d_1}{2}$ என ஆகும் ... ... ... 11·3

ஓர் இடத்திலேற்படும் ஒளிச்செறிவு அந்த இடத்திலிருப்பதாகக் கருதும் ஈதர் துகளின் அலைவீச்சின் இருபடிக்கு ஏற்பவிருக்கும். ஆகையால், ABCD என்ற அலைமுகப்பால் P-ல் ஏற்படும் ஒளிச் செறிவு $\frac{d_1^2}{4}$ க்கு ஏற்ப இருக்கும்.

ஆகையால், ஒளி செல்லும் வழியில் வைக்கப்பட்ட ஒரு சிறு பொருள் முதல் அரை அலைவு நேரமண்டிலத்தை மறைப்பதாக அமைந்தால் P-ல் ஏற்படும் கூடுதல் அலைவீச்சு

$$D = -\frac{d_2}{2} \text{ என ஆகும்.}$$

முதலிரு மண்டிலங்களை மறைத்தால்,

$$D = \frac{d_3}{2} \text{ என ஆகும்.}$$

ஆனால் $d_1, d_2, d_3$ ... ... இவைகள் படிப்படியாகக் குறைந்து கொண்டு வருவதால் முதல் சில மண்டிலங்களிலிருந்து வரும் அலைகள் தடுக்கப்பட்டால் P-ல் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு மிகமிகக் குறைந்துவிடும். அனேகமாக P இருளாக இருக்கும். அலைமுகப்பிற்கும் P-க்கும் இடையில் வைக்கப்படும் பொருள் எவ்வளவு நுண்ணியதாக இருந்தாலும் அது ஒரு குறிப்பிடத்தகுந்த மண்டிலங்களை மறைத்திருக்கும். உதாரணமாக 0·2 ச. செ. மீ. பரப்பளவுள்ள ஒரு தடை பொருள் அதிலிருந்து அதன் அச்சில் 100 செ.மீ. தொலைவில் 10 மண்டிலங்களை மறைக்கும், முதல் சில மண்டிலங்கள் மறைக்கப்பட்டாலும் P இருளாகத்தானிருக்கும். P-ல் ஏற்படும் இருள், வழியில் வைக்கப்படும் பொருளின் நிழலாகிறது. சாதாரணமாகப் பார்ப்பதற்கு இந்த நிழல் ஒளி நேர்கோட்டில் செல்வதால் ஏற்படுவதாகத் தோன்றும்.

11·3 விளிம்பு விளைவு: சென்ற பகுதியில் அலையியக்கக் கொள்கையைக் கொண்டு ஒளி எவ்வாறு கிட்டத்தட்ட நேர் கோட்டு வழி பரவுகிறது என்பதை விளக்கிக் கூறினோம். எனினும் ஒளி தன் பாதையில் ஒளிபுகாப் பொருள்களினால் மறைக்கப்படும் பொழுது, நேர்கோட்டுப் பரவலில் சிறிது மாறுதல் ஏற்படுத்துகிறது. ஒரு பொருளினால் ஏற்படும் நிழலினைக் கூர்ந்து நோக்கின் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு, நிழலின் ஓரத்தில் ஒளிச்செறிவு இருப்பதைக் காணலாம். இவ்வாறு ஒளி தன் பாதையில் உள்ள பொருள்

களின் விளிம்பில் சிறிதளவு வளைந்து, அதனால் அந்தப் பொருளி னுடைய நிழல் பகுதியின் விளிம்பில் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு வேறு பாடு விளிம்பு விளைவு (diffraction) எனப்படும்.

பொதுவாக இந்த விளிம்பு விளைவை இருவகைப்படுத்திப் படிக்கலாம்.

1. ஃப்ரநெல் பிரிவு விளிம்பு விளைவு (Fresnel class of diffraction).

2. ஃப்ரான்ஹோபர் பிரிவு விளிம்பு (Fraunhofer class of diffraction).

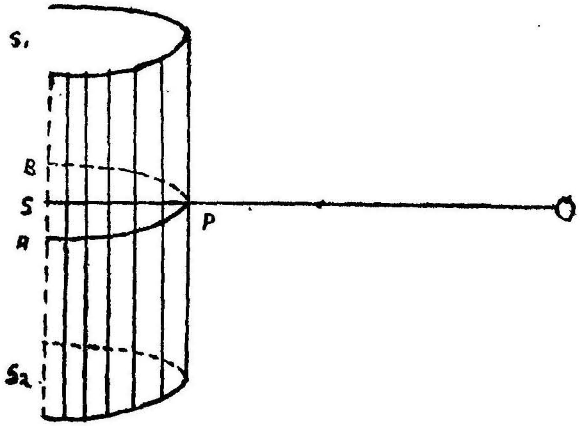
11·4. ஃப்ரநெல் விளிம்பு விளைவு (Fresnel diffraction): இந்தப் பிரிவில், ஒளிமூலம், விளிம்பு விளைவைக்காட்டும் திரை, அல்லது இரண்டும் விளிம்பு விளைவு ஏற்படுத்துகின்ற தடைபொருள் அல்லது இடையிடத்திலிருந்து (aperture) ஒரு வரம்பிற்குட்பட்ட தொலைவிலிருக்கும். இதில் படு அலைமுகப்பு சமதள அலைமுகப்பாக இருக்காது. மாறாக, உருளை வடிவிலோ அல்லது கோள வடிவிலோ இருக்கும். ஆகையால் கதிர்களை இணையாக்கவோ அல்லது குவிக் கவோ வில்லைகள் பயன்படுத்தப்படமாட்டா. ஆகையால் விளிம்பு விளைவு ஏற்படுத்துகின்ற தடைபொருள் தளத்தில் அல்லது இடை யிடத் தளத்தில் படுகின்ற இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகள் ஒரு கட்டத்திலிருக்கா. திரையில் எந்தப் புள்ளியிலும் ஏற்படுகின்ற இடப்பெயர்ச்சியின் அலைவீச்சு அலைமுகப்பின் தடைபடாத பகுதி யின் வெவ்வேறு பிரிவிலிருந்து வரும் இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டி களினால் ஏற்படும் குறுக்கீட்டு விளைவின் பயனாகும். பொதுவாக ஒரு நேர்விளிம்பு, குறுபிளவு, மெல்லியகம்பி சிறுதுளை அல்லது சிறு தடை பொருள் இவைகளால் ஏற்படுகின்ற விளிம்பு விளைவு இந்தப் பிரிவில் அடங்கும். இந்த விளிம்பு விளைவு முறை மண்டிலத் தட்டில் (zone plate) பயன்படுத்தப்படுகிறது.

11·5. ஃப்ரான்ஹோபர் விளிம்பு விளைவு (Fraunhofer diffraction): இந்தப் பிரிவில் படு அலைமுகப்பு சமதள அலைமுகப்பாக இருக்கும். இதனால் ஒளிமூலம், விளிம்பு விளைவைக் காட்டும் திரை, அல்லது இவை இரண்டும், விளிம்பு விளைவு ஏற்படுத்தும் தடைபொருள், அல்லது இடையிடத்திலிருந்து எண்ணிலாத் தொலைவிலிருக்கவேண்டும். இதனை, ஒரு குவி வில்லையைக் கொண்டு ஒளியைத் தடைபொருள் அல்லது இடையிடத் தில் விழச் செய்வதன்மூலமும், விளிம்பு விளைவு ஏற்பட்டபின் மற்றொரு குவிவில்லையைக் கொண்டு திரையில் குவிப்பதின் மூலமும் ஏற்படுத்தலாம். இந்தச் செயலின்மூலம், ஒளி மூலத்தை யும் திரையையும் நாம் வரம்பில் தொலைவிற்கு நகர்த்துகிறோம்.

இதனால் படு அலை முகப்பு சமதளமாக இருக்கும். தடைபடாத அலைமுகப்பிலிருந்து கிளம்புகின்ற இரண்டாம் நிலை அலைக் குட்டிகள் இடையிடத்தின் எந்தப் புள்ளியிலும் ஒரு கட்டத்திலிருக்கும். ஆகையால் இந்த வகையில் ஏற்படுகின்ற விளிம்பு விளைவு ஒரு குவிவில்லையால் ஒரு புள்ளியில் குவிக்கப்படுகின்ற கதிர்களுக்கு இடையில் ஏற்படும் குறுக்கீட்டு விளைவினாலாகும்.

சமதள ஒளிகடத்தும் கீற்றணி (Plane transmission grating) எதிரொளிப்புக் கீற்றணி (Reflection grating) இந்தப் பிரிவு விளிம்பு விளைவு முறையால் செயல்படுகின்றன.

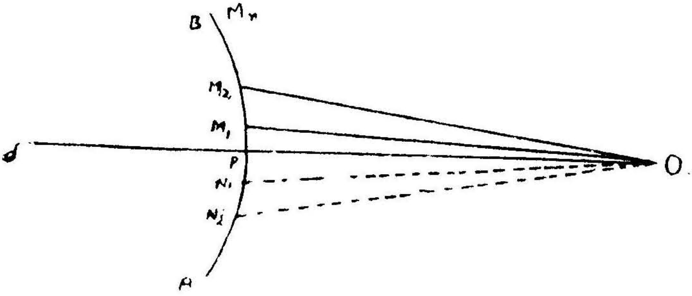
11·6. உருளை அலைமுகப்பை அரை அலைவு நேரக் கூறுகளாக்குதல் (Division of cylindrical wave front into half; period elements):




படம் 11·2

படம் 11·2-ல் $S_1S_2$ என்பது தாள் தளத்திற்குக் குத்தாக உள்ள ஒரு சிறு பிளவைக் குறிக்கும். இந்தப் பிளவு $\lambda$ அலைநீளமுள்ள ஓர் ஒற்றை நிற ஒளியால் ஒளியூட்டப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்தப் பிளவிலிருந்து இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகள் தோன்றி, ஓர் உருளை வடிவ அலைமுகப்பைத் தோற்றுவிக்கும். இந்த அலை முகப்பு அதன் எதிர்ப்புறத்தில் O என்ற புள்ளியில் ஏற்படுத்தும் விளைவைக் காண்பதற்கு, அலைமுகப்பை முதலில் அரை அலைவு நேரக் கூறுகளாகப் பிரிக்கவேண்டும். இப்பொழுது O-விலிருந்து குறு பிளவிற்கு ஒரு குத்துக்கோடு வரைவோம். அந்தக் கோடு அலை முகப்பை P-ல் சந்தித்தால், P என்ற புள்ளி O-வின் அலைமுகப்பு மையமாகும். OP-ஐ நீட்டினால் அது சிறு பிளவை S-ல் சந்திக்கும். OPS வழியாகச் சிறு பிளவிற்கு நேர்குத்தாக வரையப்படும் ஒரு தளம் அலைமுகப்பைக் குறுக்காக வெட்டி APB என்ற ஒரு வட்டப்

பகுதியைத் தோற்றுவிக்கும். இந்த APB என்ற வட்டப்பகுதி O-விற்கு அலைமுகப்பு மையக்கோடாகும். OP = $b$ எனவும் SP = $a$ எனவும் கொள்வோம்.




படம் 11·3

O-ஐ மையமாகவும் $(b + \lambda/2)$, $(b + 2\lambda/2)$, $(b + 3\lambda/2)$ ...$(b + n\lambda/2)$ இவைகளை ஆரங்களாகவும் கொண்டு வட்டவிற்கள் வரைந்தால், அவை APB என்ற அலைமுகப்பு மையக்கோட்டை முறையே $M_1$, $N_1$, $M_2$, $N_2$, $M_3$, $N_3$,.......என்ற புள்ளிகளில் வெட்டும். இந்த $M_1$ $M_2$ $M_3$..., $N_1$, $N_2$, $N_3$...புள்ளிகள் வழியே அலைமுகப்பு அச்சுக்கு இணையாகக் கோடுகள் வரைந்தால், இந்தக் கோடுகள் அலைமுகப்பை P-க்கு ஒரு புறத்தில் $PM_1$, $M_1M_2$, $M_2M_3$...$M_{n-1}M_n$ என்றும் மறுபுறத்தில் $PN_1$, $N_1N_2$,...$N_{n-1}N_n$, என்றும் ஒரே நீளத்தில் சிறுசிறு கூறுகளாகப் பிரிக்கும். இந்தப் பகுதிகள் அந்தந்தப் பிரிவில் முதல், இரண்டாம், மூன்றும் அரை அலைவு நேரக்கூறுகள் (half period elements) எனப்படும். இந்த அரை அலைவுநேரக் கூறுகளின் அகலங்கள் படிப்படியாகக் குறைந்துகொண்டு வருவதைப் பின்வருமாறு காட்டலாம்.

$M_n$, $N_n$, என்பன O-ஐ மையமாகவும் $b + \frac{n\lambda}{2}$ஐ ஆரமாகவும் கொண்டு வரையப்பட்ட வில், அலைமுகப்பு மையக்கோட்டை வெட்டும் புள்ளிகளாகும் (படம் 11·3). $\widehat{OSM_n} = \theta$ எனக் கொண்டால்

$$OM_n^2 = a^2 + (a+b)^2 - 2a(a+b)\cos\theta$$

$\theta$ சிறியதாக இருப்பதால்

$$OM_n^2 = a^2 + (a+b)^2 - 2a(a+b)\left(1 - \frac{\theta^2}{2}\right)$$
$$= a^2 + a^2 + b^2 + 2a^2 - 2ab + 2a^2\frac{\theta^2}{2} + 2ab\frac{\theta^2}{2}$$

$$= b^2 + a(a+b)\theta^2$$

$$OM_n = \left\{b^2 + a(a+b)\theta^2\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$= b\left\{1 + \frac{a(a+b)\theta^2}{b^2}\right\}^{\frac{1}{2}}$$ என ஆகும்.

$$= b\left\{1 + \frac{a(a+b)\theta^2}{2b^2}\right\}$$

$$= b + \frac{a(a+b)\theta^2}{2b^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}4$$

ஆனால், $OM_n = OP + n\lambda/2 = b + n\frac{\lambda}{2}$ ... ... 11·5

சமன்பாடு (11·4), (11·5) இவைகளை இணைத்தால்,

$$\frac{a(a+b)\theta^2}{2b} = n\lambda/2$$ என ஆகும்.

$$\theta = \frac{\sqrt{b\lambda}}{a(a+b)}.\sqrt{n} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}6$$

$$= K\sqrt{n}$$

எனவே, $PM_1 = a\theta$ ஆகையால்

$$= aK\sqrt{1}$$

$$PM_2 = aK\sqrt{2}$$

அல்லது $M_2M_1 = PM_2 - PM_1 = aK(\sqrt{2} - \sqrt{1})$

இதேபோல் $M_3M_2 = aK(\sqrt{3} - \sqrt{2})$

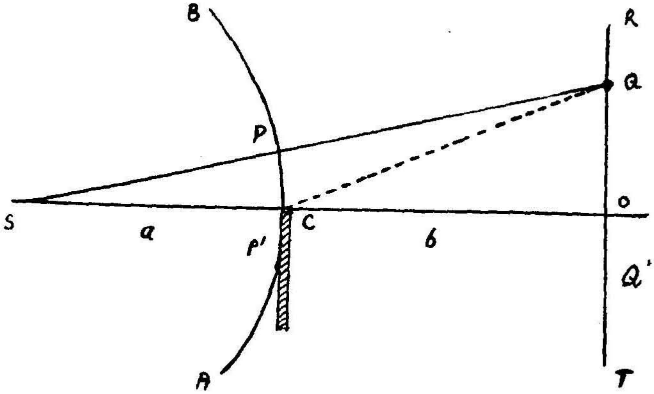
இதேபோல் $PN_1 = aK\sqrt{1}$

$$N_2N_1 = aK(\sqrt{2} - \sqrt{1})$$

$N_3N_1 = aK(\sqrt{3} - \sqrt{2})$ என்றும் காட்டலாம்.

$PM_1$, $M_2M_1$, $M_3M_2$...என்பன அரை அலைவுநேரக் கூறுகளின் அகலங்களாகும். எனவே, அரை அலைவு நேரப் பிரிவுகள் ஒரே நீளங்கள் கொண்டிருந்தாலும், படிப்படியாகக் குறையும் அகலங்களைக் கொண்டிருக்கும். ஆகையால் இந்த அரை அலைவு நேரக் கூறுகள் O-வில் தோற்றுவிக்கின்ற அலையின் அலை வீச்சுகளும் படிப்படியாகக் குறைந்துகொண்டிருக்கும். மேலும், P-ன் ஒவ்வொரு புறத்திலும் அடுத்தடுத்துள்ள பிரிவுகளால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி ஒன்றுக்கொன்று எதிர்கட்டத்திலிருக்கும்.

11·7 நேர் விளிம்பில் விளிம்பு விளைவு (Diffraction at a straight edge): ஒற்றை நிறஒளியால் ஒளியூட்டப்பட்ட S என்ற ஒரு சிறு பிளவிற்கு இணையாக, C என்ற ஒரு நேர்முனை பொருத்தப்பட்டிருப்ப




படம் 11·4

தாகக் கொள்வோம். சிறு பிளவும் நேர்முனையும் தாள் தளத்திற்குக் குத்தாக இருப்பதாகக் கொள்ளவேண்டும் (படம் 11·4). O வழியே தாள் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக உள்ள RT என்ற திரையில் விளிம்பு விளைவால் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு காண்போம். SCO வழியே தாள் தளத்திற்குக் குத்தாக ஒரு தளம் வரைந்தால், அந்தத் தளம் திரையைத் தொடும் கோடு பொதுவாக நேர்முனை நிழலின் எல்லையைக் குறிக்கும். ஒளியின் நேர்கோட்டுப் பரவல் விதிப்படி O-விற்கு மேற்புறத்தில் முழுஒளிச்செறிவும் O-விற்குக்கீழ்ப்புறம் முழு இருளுமாக இருக்கவேண்டும். ஆனால், கூர்ந்து நோக்கின் O-வின் மேல் புறம் மாறுபட்ட அகலங்கொண்ட ஒளி-இருள் பட்டைகளிருப்பதையும் O-வின்கீழ்ப்புறத்தில் ஒளிச்செறிவு படிப்படியாகக்குறைந்து செல்வதையும் காணலாம். இது எவ்வாறு ஏற்படுகின்றது என்பதை இப்பொழுது காண்போம்.

முதலில் C-யில் நேர் விளிம்பு இல்லாவிடில், திரையில் O என்ற புள்ளியிலேற்படும் ஒளிச்செறிவு, APB அலைமுகப்பின் (படம் 11·3) BP பகுதியிலிருந்தும் AP பகுதியிலிருந்தும் கிளம்புகின்ற இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகள் O-வில் ஏற்படுத்துகின்ற இடைப்பெயர்ச்சியின் விளைவாகும். இந்தப் பகுதிகளை முன்பிரிவில் கூறியபடி அரை அலைவு நேரக் கூறுகளாகப் பிரித்திருப்பதாகக் கொள்வோம். PB பகுதியிலுள்ள அரை அலைவுக் கூறுகள் O-வில் முறையே $d_1, d_2$ ............$d_n$ இடப்பெயர்ச்சிகளை ஏற்படுத்துவதாகக் கொள் வோம் அடுத்தடுத்த பிரிவிலிருந்து O-வை அடையும் அலைக்

குட்டிகள் அரை அலைவுநேர தூரம் அதிகமாகக் கடந்து வருவதால் அடுத்தடுத்த இடப்பெயர்ச்சிகள் ஒன்றுக்கொன்று எதிர்த்திசையில் இருக்கும். ஆகையால் O-வில் PB அலைமுகப்புப் பகுதி ஏற்படுத்தும் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி

$$= d_1 - d_2 + d_3 - d_4 \ldots\ldots$$

இதனை 11·2-ஆம் பிரிவில் காட்டியபடி,

$$= \frac{d_1}{2} + \left(\frac{d_1}{2} - d_2 + \frac{d_3}{2}\right) + \left(\frac{d_3}{2} - d_4 + \frac{d_5}{2}\right) + \ldots$$

எனக் கொள்ளலாம்.

ஆனால், $\left(\frac{d_1}{2} - d_2 + \frac{d_3}{2}\right) = \left(\frac{d_3}{2} - d_4 + \frac{d_5}{2}\right) \ldots \ldots = 0$

ஆகவே, தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி

$$= \frac{d_1}{2} \pm \frac{d_n}{2} \text{ என ஆகும்.} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 11.7$$

இதேபோல் PA பகுதி அலை முகப்புப் பகுதிகள் O-வில் ஏற்படுத்தும் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி

$$= \frac{d_1}{2} \pm \frac{d_n}{2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 11{\cdot}8$$

அரை அலைவு நேரப் பகுதிகளின் எண்ணிக்கை அதிகமானால் $dn$ மிகக் குறைவாக இருக்கும். ஆகையால், அலைமுகப்பின் PA பகுதி O-வில் ஏற்படுத்தும் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி

$$= \frac{d_1}{2} \quad \text{என ஆகிறது.}$$

P B பகுதி ஏற்படுத்தும் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி

$$= \frac{d_1}{2} \quad \text{என ஆகும்.}$$

ஆகையால், APB அலைமுகப்பு நேர்விளிம்பு இல்லாவிடில் O-வில் ஏற்படுத்தும் இடப்பெயர்ச்சி,

$$\frac{d_1}{2} + \frac{d_1}{2} = d_1 \text{ ஆகும்.}$$

ஆகையால் இந்த இடத்தின் ஒளிச்செறிவு

$$= d_1^2 \text{ ஆகும்.}$$

இப்பொழுது அலைமுகப்பின் AP பகுதி ஒரு நேர் விளிம்பால் மறைக்கப்பட்டால், AP பகுதியிலிருந்து வரும் அலைக்குட்டிகள் மறைக்கப் பட்டுவிடும். ஆகையால் O-வில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி P B அலை முகப்புப் பகுதியால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சியாகும்

அதாவது $\frac{d_1}{2}$ ஆகும். ஆகையால், நேர்விளிம்பு வைக்கப்பட்டால் திரையில் O-வில் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு

$$= \frac{d_1^2}{4} \text{ ஆகும்.}$$

இப்பொழுது நிழலுக்கு வெளியில் O-விலிருந்து $x$ தொலைவிலுள்ள Q என்ற (படம் 11·4) புள்ளியிலேற்படும் ஒளிச்செறிவு என்ன என் பதைக் காண்போம். இதற்கு அலைமுகப்பை Q-வின் அரை அலைவு நேரக் கூறுகளாகப் பிரிக்கவேண்டும். P-ஐ Q-வின் அலைமுகப்பு மையமாகக் கொள்வோம். Q-ல் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி அலை முகப்பில் P-க்கு மேல்பகுதி முழுவதால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி, P-க்குக் கீழ் தடையால் மறைக்கப்படாத பகுதியால் ஏற்படும் இடப் பெயர்ச்சி இவைகளின் கூடுதலாகும். மேல் பகுதியால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி $\frac{d_1}{2}$ ஆகும். மறைக்கப்படாத கீழ்ப்பகுதியால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி மறைக்கப்படாத பகுதி எத்தனை அரை அலைவு நேரக்கூறுகளைக் கொண்டிருக்கின்றது என்பதைப் பொறுத் திருக்கும். உதாரணமாகத் திரையில் Q-ன் நிலை PA அலைமுகப்புப் பகுதியில், நேர்விளிம்பில் மறைக்கப்படாத பகுதி, ஓர் அலைவு நேரக்கூறுமட்டுமே கொண்டிருந்தால், இதனால் Q-வில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி $d_1$ ஆகும். ஆகவே Q-வில் மறைக்கப்படாத முழு அலைமுகப்பால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி

$$= \frac{d_1}{2} + d_1 = \frac{3\,d_1}{2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad 11{\cdot}9$$

ஆகையால், Q-ல் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு

$$= \frac{9}{4} d_1^2 \text{ ஆகும்.}$$

இது O-விலேற்படும் ஒளிச்செறிவைவிட 9 மடங்கு கூடுதலாகும். இந்த இடத்தில் திரையில் கூடுதல் ஒளிச்செறிவிருக்கும். திரையில் Q-வின் நிலை மறைபடாத அலைமுகப்பின் PC பகுதி இரு அரை அலைவு நேரக் கூறுகளைக் கொண்டிருந்தால் இந்தப் பகுதி திரையில் Q-வில் ஏற்படுத்தும் இடப்பெயர்ச்சி

$$= d_1 - d_2$$

அல்லது மறைக்கப்படாத முழு அலைமுகப்பால் ஏற்படும் இடப் பெயர்ச்சி

$$= d_1 - d_2 + \frac{d_1}{2}$$

$$= \left(\frac{d_1}{2}\right) + \left(\frac{d_1}{2}\right) + \left\{\frac{d_1}{2} - d_2 + \frac{d_3}{2}\right\} - \frac{d_3}{2}$$

$$= \left(d_1 - \frac{d_3}{2}\right) \quad \left(\because \frac{d_1}{2} - d_2 + \frac{d_3}{2} \approx 0\right)$$

அல்லது ஒளிச்செறிவு

$$= \left(d_1 - \frac{d_3}{2}\right)^2$$

$$= \left(d_1 - \frac{d}{3}\right)^2 \text{ ஆகும்.}$$

இதேபோல் திரையில் Q-வின் நிலை அலைமுகப்பின் PC பகுதியில் மூன்று மறைக்கப்படாத அரை அலைவு நேரக் கூறுகளைக் கொண்டிருந்தால் Q-ல் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி

$$= \frac{d_1}{2} + d_1 - d_2 + d_3 \text{ ஆகும்.}$$

$$= d_1 + \left(\frac{d_1}{2} - d_2 + \frac{d_3}{2}\right) + \frac{d_3}{2}$$

$$= \left(d_1 + \frac{d_3}{2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}10$$

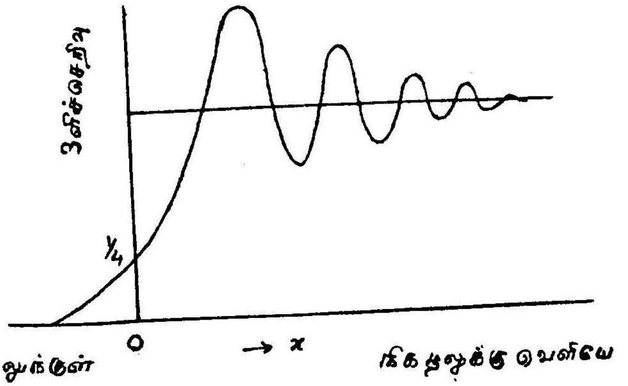
அல்லது ஒளிச்செறிவு

$$= \left(d_1 + \frac{d_3}{2}\right)^2$$

இதேபோல் மறைபடாத P C அலைமுகப்புப் பகுதி 4 கூறுகளைக் கொண்டிருந்தால் ஒளிச்செறிவு $\left(d_1 - \frac{d_4}{2}\right)^2$ என்றும் 5 கூறுகளைக் கொண்டிருந்தால் திரையில் ஒளிச் செறிவு $\left(d_1 + \frac{d_5}{2}\right)^2$ என்றும் காட்டலாம்.

நேர்விளிம்பு ஏற்படுத்தும் நிழலிலிருந்து வெளிப்புறமாக நகர நகர, திரையில் ஒளிச்செறிவு பெருமமாகவும், சிறுமமாகவும் அடுத் தடுத்து மாறிக்கொண்டிருக்கும். திரையின் எந்தப் புள்ளிகள் மறை படாத PC அலைமுகப்பு ——— பகுதியில் ஒற்றைப்படை அரை அலைவு நேரக் கூறுகளை ஏற்படுத்துகின்றனவோ அங்கெல்லாம் ஒளிச்செறிவு பெருமமாகவும் எந்தெந்தப் புள்ளிகள் இரட்டைப்படை அரை அலைவு நேரக் கூறுகளை ஏற்படுத்துகின்றனவோ அங்கெல் லாம் ஒளிச் செறிவு சிறுமமாகவும் காணப்படும். மேலும் O-விலிருந்து வெளிப்புறமாகச் செல்லச் செல்ல, பெருமங்களில் ஒளிச்செறிவு

குறைந்துகொண்டும் சிறுமங்களில் ஒளிச்செறிவு மிகுந்துகொண்டு மிருப்பதையும் காணலாம். ஆகையால் O-விலிருந்து சிறிது தூரத் திற்குப்பின் பெருமமும் சிறுமமும் ஒருங்கிணைந்து ஒளிச்செறிவு ஒரே நிலையடைகின்றது. இந்த ஒளிச்செறிவு மாறுபடுகின்ற முறையைப் படம் 11·5 விளக்கும்.




படம் 11·5

இதேபோல் நேர் விளிம்பு ஏற்படுத்தும் நிழலிற்குள் Q′ என்ற ஒரு புள்ளியிலேற்படும் ஒளிச்செறிவைக் காணலாம். இப்பொழுது Q′-ன் அலைமுகப்பு முனை P′ (படம் 11 4) SCO-விற்குக் கீழிருக்கும். ஆகையால் அலைமுகப்பின் ஒரு பாதி எப்பொழுதும் மறைக்கப்பட்டு விடும். மறுபாதியில் திரையில் Q′-ன் நிலையைப் பொறுத்து முதல் சில அரை அலைவு நேரக்கூறுகளில் மறைக்கப்படும். ஆகையால் Q′ல் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு அலைமுகப்பின் மற்ற மறையாத பகுதியால் ஏற்படுவதாகும்.

உதாரணமாக முதல் அரை அலைவு நேரக் கூறுமட்டும் மறைக் கப்பட்டால் Q′-ல் ஏற்படும் கூடுதலிடப் பெயர்ச்சி

$$= -\frac{d_2}{2} \text{ ஆகும் அல்லது ஒளிச்செறிவு}$$

$\frac{d_2^{\,2}}{4}$ ஆகும். முதலிரு அரை அலைவு நேரக்கூறுகள் மறைக்கப்பட்டால் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு $\frac{d_3^{\,2}}{4}$ ம், முதல் மூன்று கூறு கள் மறைக்கப்பட்டால் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு $\frac{d^{\,2}}{4}$ ஆகும். மேலும்

$d_2$, $d_3$, $d_4$... படிப்படியாகக் குறைந்துகொண்டிருப்பதால் நிழலி னுள் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு நிழலின் தொடக்கத்திலிருந்து ஒரு சிறு தொலைவினுள் படிப்படியாகக் குறைந்து விரைவாகச் சுழிநிலையை அடையும்.

11·8. விளிம்பு விளைவு ஒளிவரிகள் (Diffraction bands): ஒரு நேர் விளிம்பின் வழி அலைமுகப்பு பரவ நேர்ந்தால் நேர் விளிம் பின் மறுபுறத்திலுள்ள திரையில் ஏற்படும் நிழலினுள் சிறிது தூரம் ஒளிச்செறிவு பரவியிருக்கு மென்றாலும், நிழலுக்கு வெளியில் ஒரு குறிப்பிட்ட தூரம் வரை ஒளிச்செறிவு பெருமமாகவும் சிறும மாகவும் அடுத்தடுத்து இருக்குமென்றும் கண்டோம். இவைகள் விளிம்பு விளைவு வரிகள் எனப்படும். இந்த விளிம்பு விளைவு வரிகளின் அகலம் எவ்வாறிருக்குமென்று காண்போம். படம் 11·4-ல் Q-ல் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு பெருமமாக அல்லது சிறுமமாக இருப்பது, அலைமுகப்பு முனைக்குக் கீழ்ப்புறமிருக்கும் மறைக்கப்படாத அலைமுகப்பிலுள்ள அரை அலைவு நேரப் பகுதிகள் முறையே ஒற்றைப்படையிலோ அல்லது இரட்டைப் படையிலோ இருப்பதைப் பொறுத்துள்ளது. CP பகுதியில் எத்தனை அரை அலைவு நேரப்பகுதிகள் உள்ளன என்பது CQ-விற்கும் PQ விற்கும் உள்ள பாதை வேறுபாட்டைப் பொறுத்திருக்கும். ஆகையால் பாதைவேறுபாடு = CQ − PQ, O விலிருந்து Q, $x$ தொலைவிலிருப் பதாகக் கொள்வோம்.

$$CQ = (b^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$= b\left(1 + \frac{x^2}{b^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= b + \frac{x^2}{2b} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 11{\cdot}11$$

$$PQ = SQ - SP$$

$$PQ = \left\{(a+b)^2 + x^2\right\}^{\frac{1}{2}} - a$$

$$= a + b + \frac{x^2}{2(a+b)} - a$$

$$= b + \frac{x^2}{2(a+b)} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 11{\cdot}12$$

சமன்பாடு (11·11), (11·12) இவைகளிலிருந்து

$$CQ - PQ = b + \frac{x^2}{2b} (b + \frac{x^2}{2(a-b)}$$

$$= \frac{a\,x^2 + b\,x^2 - b\,x^2}{2\,b\,(a+b)}$$

$$= \frac{a\,x^2}{2b\,(a+b)} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}13$$

இந்தப் பாதை வேறுபாடு ஒற்றைப்படை அரை அலை நீளங்களுக்குச் சமமானால் மறைக்கப்படாத அலைமுகப்புப் பகுதி ஒற்றைப்படை அரை அலைவு நேரக் கூறுகளைக் கொண்டிருக்கும். ஆகையால் திரையில் ஒளிச்செறிவு பெருமமாக இருக்கும். மாறாக ஒளிச்செறிவு சிறுமமாக இருக்க அலைமுகப்புப் பகுதி இரட்டைப் படை அரை அலைவு நேரக்கூறுகளாக இருக்கவேண்டும். இதற்குப் பாதை வேறுபாடு இரட்டைப்படை அரை அலை நீளத்திலிருக்கவேண்டும். எனவே,

திரையில், நேர்விளிம்பின் வடிவியல் நிழலுக்கு வெளியிலுள்ள ஒரு புள்ளியில் ஒளிச்செறிவு (அ) பெருமமாக இருக்கவேண்டுமாயின்,

பாதை வேறுபாடு $\frac{a\,x^2}{2b\,(a+b)} = (2n+1)\frac{\lambda}{2} \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}14$

ஆகவும் (ஆ) சிறுமமாக இருக்க வேண்டுமாயின்,

பாதை வேறுபாடு $\frac{a\,x^2}{2b\,(a+b)} = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}15$

ஆகவும் இருக்கவேண்டும்.

$$\frac{a\,x^2}{2\,b(a+b)}\ \lambda\ (2n+1)\,\lambda/2,$$ இவ்விதமானால்

$$x^2 = \frac{(2\,n+1)\lambda}{2} \cdot \frac{2b\,(a+b)}{a}$$

$$x = \frac{\sqrt{b\,(a+b).\quad (2n+1)\,\lambda}}{a}$$

அந்த இடத்தில் ஒளிச்செறிவு பெருமம் என்றாகும்.

அதேபோல் $x = \frac{\sqrt{b\,(a+b)\,2n\lambda}}{a}$

என்றால், ஒளிச்செறிவு சிறுமம் ஆக இருக்கும்.

ஆகையால் திரையில் முதல் பெரும ஒளிச்செறிவு கிடைக்க n = 0 ஆகவேண்டும்.

$$x_1 = \frac{\sqrt{b(a+b)}}{a}\sqrt{1} = \frac{\sqrt{b(a+b)}}{a}\sqrt{1}$$

ஆனல், $\frac{\sqrt{b(a+b)}}{a}$ ஒரு விளிம்பு விளைவு அமைப்பில் நிலையானது.

ஆதலால், $\frac{\sqrt{b(a+b)}}{a} = K$ என்று கொள்ளலாம். முதல் பெருமத்தின் மையம்

O-விலிருந்து $x_1 = K\sqrt{1}$ தொலைவிலிருக்கும்.

இரண்டாவது பெரும வரி O-விலிருந்து $x_2 = K\sqrt{3}$ தொலைவிலும் மூன்ருவது பெரும வரி

$x_3 = K\sqrt{5}$ தொலைவிலிருக்கும். ஆகையால் பொதுவாகத் திரையில் ஒளிச்செறிவின் பெரும மையங்களின் தொலைவு O-விலிருந்து ஒற்றைப்படை எண்களின் இருபடி மூல வீதத்திலிருக்கும் (proportional to the square root of natural odd numbers).

முதல் பெரும வரியின் அகலம் $\beta_1 = K\sqrt{3} - K\sqrt{1}$

$= K(\sqrt{3} = \sqrt{1})$

$= 0.732$ K.

இரண்டாம் பெரும வரியின் அகலம் $\beta_2 = x_3 - x_2$

$= K(\sqrt{5} - \sqrt{3})$

$= 0.504$ K.

மூன்ரும் பெரும வரியின் அகலம் $\beta_3 = x_4 - x_3$

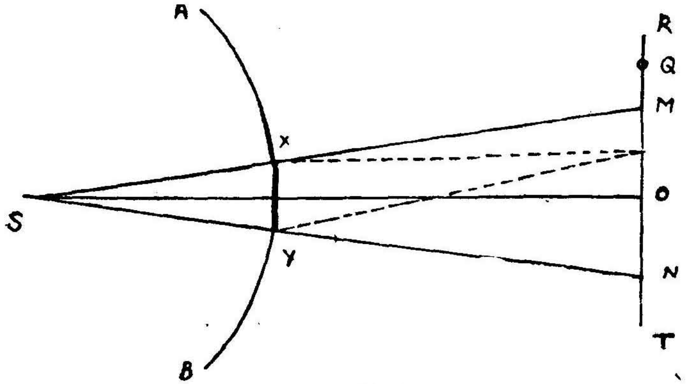
$= K\sqrt{7} - K\sqrt{5}$

$= 0.430$ K

ஆகையால், விளிம்பு விளைவில் பெரும வரிகளின் அகலங்களெல்லாம் ஒன்ருக இரா. மேலும் இந்த அகலம் குறைந்து கொண்டு செல்வதால் வடிவியல் நிழல் விளிம்பு O-விலிருந்து வெளியே செல்லச் செல்லப் பட்டைகள் ஒன்ருேடொன்று நெருக்கமாக அமைகின்றன. மேலும் O-விலிருந்து செல்லச் செல்ல ஒளிச்செறிவு பெருமத்திற்கும் சிறுமத்திற்குமுள்ள வேறுபாடு குறைந்து கொண்டு வருவதால் ஒரு குறிப்பிட்ட பகுதிக்கு அப்பால் திரையில் இத்தகைய பெரும, சிறும வரிகள் மறைந்து எங்கும் ஒளிச்செறிவு ஒரு நிலையுடனிருக்கும்.

இதேபோல் சிறும வரிகளின் தொலைவு O-விலிருந்து இரட்டைப் படை முழு எண்களின் இருபடி மூல வீதத்திலிருக்குமென்றும், அவற்றின் அகலங்களும் குறைந்துகொண்டிருக்குமென்றும் காட்டலாம்.

**11·9.** ஒரு மென்கம்பியால் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவு: படம் 11·6-ல், S தாள் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக உள்ள, ஒளியூட்டப்பட்ட




படம் 11·6.

ஒரு சிறு பிளவு XY-ஐக் குறுக்களவாகக் கொண்ட ஒரு மென்கம்பி சிறுபிளவிற்கு இணையாக வைக்கப்பட்டுள்ளதாகக் கொள்வோம். இதனால் மென்கம்பிக்கு மறுபுறத்திலுள்ள RT திரையிலேற்படும் ஒளிச்செறிவு வேறுபாடுகளைக் காண்போம். பொதுவாக XY திரையில் MN என்ற நிழலை ஏற்படுத்தும்.

நிழலுக்கு வெளியில் Q என்ற புள்ளியிலேற்படும் விளைவு XY என்ற தடையின் நேர் விளிம்பால் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவாகும். ஆகையால், M-க்கு வெளியில் ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவுவரை வேறுபட்ட அகலங்களும், ஒளிச்செறிவுகளும் கொண்ட விளிம்பு விளைவு வரிகள் காணப்படும். இதேபோல N-க்கு வெளிப்புறத்திலும் காணப்படும்.

MN-க்கு உள்பகுதியில் அதாவது நிழல் பகுதியில், AB அலைமுகப்பின் XA, YB பகுதிகள் செயல்படும். திரையில் XA பிரிவு அலைமுகப்பால் ஏற்படும் விளைவு அலைமுகப்பில் X-க்கு அருகிலுள்ள அரை அலைவு நேரக் கூறுகளாலேற்படும் விளைவுதான். இதே போல், YB பிரிவின் விளைவு, அலைமுகப்பில் Y-க்கருகிலுள்ள அரை அலைவுநேரக் கூறுகளால் ஏற்படும் விளைவாகும். அல்லது இந்த இரு பகுதிகளிலுள்ள அரை அலைவு நேரப் பகுதிகளையும் இரு சிறு பிளவுகளுக்குச் சமமாகக் கருதலாம். இந்த இரு சிறு பிளவுகளும் ஒரே

அலைமுகப்பில் உள்ளதால், இவைகள் ஓரியல் ஒளி மூலங்களாகச் செயல்படும். இந்த இரு ஓரியல் ஒளிமூலங்களும் திரையின் MN பகுதியில் குறுக்கீட்டு விளைவினை ஏற்படுத்தும். ஆகையால், MN பகுதி குறுக்கீட்டு விளைவு, ஒளி-இருள் வரிகளைக்கொண்டிருக்கும். மென்கம்பியின் ஒரு புறத்திலிருந்துவரும் ஒளியை மறைத்தால், இந்த ஒளி-இருள் வரிகள் மறைந்துவிடுவதைக் காணலாம். இந்த ஒளி-இருள் வரிகளின் அகலங்கள் ஒன்றாக இருக்கும்.

மென்கம்பிக்கும் திரைக்குமிடைத்தூரம் D என்றும், மென்கம்பியின் கனம் $d$ என்றும், ஒற்றை நிற ஒளியின் அலைநீளம் $\lambda$ என்றும் கொண்டால், இந்தக் குறுக்கீட்டு ஒளி வரிகளின் அகலம்,

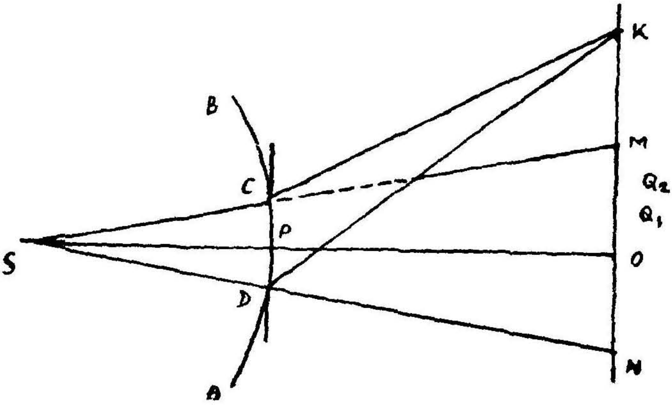
$$B = \frac{\lambda D}{d} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}16$$

ஆகையால், இவ்வாறு ஏற்படுகிற ஒளிவரி அகலங்களையும், D-ஐயும் அளந்தால், அலைநீளத்தைப் பயன்படுத்திச் சமன்பாடு 11·16-ன்படி கம்பியின் கனத்தைக் கணக்கிடலாம்.

சமன்பாடு 11·16-ன்படி கம்பியின் கனம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க வரி அகலம் குறைந்துகொண்டுவரும். கம்பியின் கனம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்கு மேலிருந்தால், நடுவிலுள்ள குறுக்கீட்டு வரிகள் மறைந்து, நிழல் பகுதிக்கு வெளியிலுள்ள விளிம்பு வரிகள்தான் காணப்படும்.

**11·10. விளிம்பு விளைவைக்கொண்டு மென்கம்பியின் விட்டத்தை அளத்தல் :** ஓர் ஒளியியல் அளவுச் சட்டத்தில் நேர்குத்தாகப் பொருத்தப்பட்ட ஒரு சிறுபிளவை ஒற்றை நிற ஒளியால் ஒளியூட்டச் செய்யவேண்டும். விட்டம் காணவேண்டிய கம்பியைச் சிறு பிளவிலிருந்து 15 அல்லது 20 செ.மீ. தூரத்தில் சிறு பிளவிற்கு இணையாகப் பொருத்தவேண்டும். கண்ணருகுக் கருவியை, அதன் பார்வைப் புலனில் கம்பியின் நிழலில் குறுக்கீட்டு வரிகள் காணப்படுமாறு நகர்த்தவேண்டும். இதற்குச் சிறு பிளவு, மென்கம்பி, கண்ணருகுக் கருவி இவைகள் ஒரே உயரத்திலும், ஒரே நேர் கோட்டிலும் இருக்கவேண்டும். பின்னர்க் கண்ணருகுக் கருவியின் குறுக்கிழைக் கம்பியை ஒளி வரிகளில் பொருத்தி, நுண்ணளவுக் கருவியின் உதவியால் இந்த வரி அகலத்தைக் காணலாம். பின்னர் மென்கம்பிக்கும் கண்ணருகுக் கருவிக்குமிடையிலுள்ள தூரத்தை அளந்து, ஒளியின் அலை நீளத்தைப் பயன்படுத்திச் சமன்பாடு 11·16-ன்மூலம் மென்கம்பியின் கனத்தைக் கணக்கிடலாம்.

**11·11.** நீள்சதுர இடையிடத்தினால் விளிம்பு விளைவு (Diffraction due to a rectangular aperture) :




படம் 11·7

படம் 11·7-ல் AB ஒற்றை நிற ஒளியூட்டப்பட்ட சிறு பிளவினால் தோற்றுவிக்கப்பட்ட உருளை வடிவ அலைமுகப்பாகும். இந்த அலை முகப்பு, சிறுபிளவிற்கு இணையாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ள CD என்ற நீள்சதுர இடையிடத்தில் விழுவதாகக்கொள்வோம். திரையில் MN பகுதிக்குள் பொதுவாக ஒளிப்பொலிவும் MN பகுதிக்கு வெளியில் இரு பக்கங்களிலும் நிழல் பகுதியும் இருக்கவேண்டும். ஆனால், நீள்சதுர இடையிடத்தில் ஏற்படுகின்ற விளிம்பு விளைவினால் திரையில் ஒளிப் பகுதியிலும் நிழல் பகுதியிலும் ஒளிச்செறிவு மாற்றங்கள் நிகழ்கின்றன. இவ்வாறு ஏற்படுகின்ற மாற்றங்களும் நீள் சதுர இடையிடத்தின் அகலத்திற்கு ஏற்ப மாறுபடுகின்றன.

(அ) அகன்ற நீள்சதுர இடையிடம் : நீள்சதுர இடையிடம் அகலமானதாக இருந்தால் இடையிடத்தின் C பகுதியும் D பகுதியும் இரு நேர் விளிம்புகளாகச் செயல்பட்டு, திரையில் MN பகுதிகளுக்கு இருமருங்கிலும் நேர் விளிம்பினாலேற்படும் விளிம்பு விளைவைத் தோற்றுவிக்கும். M-லிருந்தும் N-லிருந்தும் O-வை நோக்கி நகரும்பொழுது முதலில், வேறுபட்ட அகலங்களையும் வேறுபடும் ஒளிச்செறிவினையும் கொண்ட விளிம்பு விளைவு வரிகள் தோன்றும். ஆனால், சிறிது தொலைவு சென்றதும், இந்த ஒளிப் பட்டைகள் கொஞ்சம் கொஞ்சமாக மறைந்து O-வின் இருமருங்கிலும் ஒத்தஇயல்புடைய ஒளிப்பொலிவோடிருக்கும். M-க்கும் N-க்கும் வெளிப்புறத்தில் ஒளிச்செறிவு விரைவாகக் குறைந்து நிழலை ஏற்படுத்தும்.

(ஆ) குறுகிய நீள்சதுர இடையிடம்: நீள்சதுர இடையிடம் குறுகியதாக இருந்தால், முதலில் MN பகுதிக்குள் ஏற்படும் ஒளிச் செறிவு மாறுதல்களைக் காண்போம். MN பகுதியில் O என்ற புள்ளியினுடைய அலைமுகப்பு மையம் (Pole of the wave front) P ஆகும் (படம் 11·7). CD பகுதிக்குள் விழும் அலைமுகப்பை P-ன் இரு பக்கங்களிலும், அரை அலைவு நேரக்கூறுகளாகப் பிரிக்கலாம். CD இடைவெளியில் விழும் அலைமுகப்பு P-ன் ஒவ்வொரு பக்கத்திலும் ஓர் அரை அலைவு நேரக்கூறுகளைக் கொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். ஒவ்வொரு கூறும் O-வில் $d_1$ இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படுத்தும். ஆகையால் O-வில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி $2d_1$ ஆகும். ஆதலால் O-வில் ஒளிச்செறிவு பெருமமாகும். P-ன் ஒவ்வொரு பக்கத்திலும் இரு அரை அலைவு நேரப்பகுதிகள் இருந்தால் O-வில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி $2(d_1-d_2)$ அல்லது ஒளிச் செறிவு சிறுமமாக இருக்கும். P-ன் ஒவ்வொரு பக்கத்திலும் மூன்று அரை அலைவு நேரப் பகுதிகளிருந்தால் O-விலேற்படும் இடப்பெயர்ச்சி $2(d_1-d_2+d_3)$ ஆகும். அல்லது $2\left(\frac{d_1}{2}+\frac{d_1}{2}-d_2+\frac{d_3}{2}+\frac{d_3}{2}\right)$ $=(d_1+d_3)$ ஆகும். ஆதலால், ஒளிச் செறிவு பெருமமாக இருக்கும். ஆகையால் அலைமுகப்பின் CP பகுதி P-ன் ஒவ்வொரு பக்கத்திலுமுள்ள ஒற்றைப்படை அல்லது இரட்டைப்படை அரை அலைவு நேரக்கூறுகளுக்கு ஏற்ப O-வின் ஒளிச்செறிவு முறையே பெருமமாகவோ சிறுமமாகவோ இருக்கும்.

இப்பொழுது அலைமுகப்பின் CD பகுதி P-ன் ஒவ்வொரு பக்கத்திலும் மூன்று அரை அலைவு நேரக்கூறுகளைக் கொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். ஆகையால் O-ல் ஒளிச்செறிவு பெருமமாக விருக்கும். திரையில் O-வின் அருகிலுள்ள $Q_1$ என்ற புள்ளியினுடைய அலைமுகப்பு மையம் $P_1$-க்கு நகர்ந்திருக்கும். $Q_1$-ல் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு $P_1$-ன் இரு பக்கத்திலுமுள்ள அரை அலைவு நேரக்கூறுகளினால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சியைப் பொறுத்திருக்கும். $P_1C$ இரு அரை அலைவு நேரக்கூறுகளையும் $P_1D$ நான்கு அரை அலைவு நேரக்கூறுகளையும் கொண்டிருந்தால் $Q_1$-ல் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி= $(d_1-d_2)+(d_1-d_2+d_3-d_4)\approx(d_1+d_4)$ ஆகும். ஆகையால், அங்கு ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு சிறுமமாக இருக்கும். Q-வினுடைய அலைமுகப்பு மையம் $P_2$ ஆனால் $P_2$-வின் ஒரு பகுதியில் ஓர் அரை அலைவு நேரக்கூறுகளும் மறுபுறத்தில் 5 கூறுகளுமிருந்தால் $Q_3$-ல் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி,

$$= d_1 + d_1-d_2 + d_3-d_4 + d_5$$

$$= \quad d_1 + \frac{d_1}{2}+\frac{d_1}{2}-d \quad + \frac{d_3}{2}+\frac{d_3}{2}-d_4+\frac{d_5}{2}\Big)$$

$$\frac{d_5}{2} = \frac{3\,d_1}{2} + \frac{d_6}{2}$$

ஆகையால், ஒளிச்செறிவு பெருமமாக விருக்கும். எனவே, திரையின் MN பகுதியில் ஒளிச்செறிவு பெருமமாகவும் சிறுமமாகவுமுள்ள வரிகள் காணப்படும்.

நிழலுக்குள் M அல்லது N-ன் வெளிப்புறத்தில் K என்ற புள்ளியி லேற்படும் ஒளிச்செறிவைக் காண்போம். K-யின் அலைமுகப்பு மையம் ஒரு புறத்திலுள்ள அலைமுகப்பு முழுதும் மறைக்கப்பட் டுள்ளது. K-ல் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு மறுபுறத்தில் அலைமுகப்பின் CD பகுதியில் எத்தனை அரை அலைவு நேரக்கூறுகளுள்ளன என்ப தைப் பொறுத்துள்ளது. ஒற்றைப்படைப் பகுதிகளாக இருந்தால் பெருமமாகவும், இரட்டைப்படைப் பகுதிகளாக இருந்தால் சிறும மாகவுமிருக்கும். அல்லது $DK - CK = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$ ஆக இருந் தால் பெருமமாகவும் $(DK-CK) = n\lambda$ ஆக இருந்தால் சிறுமமாக வும் இருக்கும். ஆகையால், K, M-லிருந்து அல்லது N-லிருந்து வெளியே நகர நகர ஒளிச்செறிவு பெருமமாகவும் சிறுமமாகவுமுள்ள வரிகள் காணப்படும்.

MN-க்குள் தோன்றுகின்ற விளிம்பு விளைவு வரிகள் அலைமுகப்பு மையத்திற்கருகிலிருப்பதால் வரிகளில் அகலம் சற்றுக் கூடுதலா யிருக்கும். MN பகுதிக்கு வெளிப்புறத்திலேற்படும் வரிகள் அலை முகப்பு முனைக்குத் தொலைவிலிருந்தால் குறுகலாக இருக்கும்.

மேலும் $CD = d$ என்றும் $PO = D$ என்றும் $OK = x$ என்றும் கொண்டால்,

$$DK^2 = D^2 + \left(\frac{d}{2} + x\right)^2$$

$$CK^2 = D^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$$

$$DK^2 - CK^2 = \left(\frac{d}{2} + x\right)^2 - \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$$

$$(DK+CK)\,(DK-CK) = 4\,x\,\frac{d}{2}$$

$$= 2\,x\,d$$

$$DK - CK = \frac{2\,xd}{2\,D} \quad (\because DK + CK \approx 2D)$$

$$= \frac{x\,d}{D}$$

ஆகையால், $\frac{xd}{D} = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ ஆனல்,

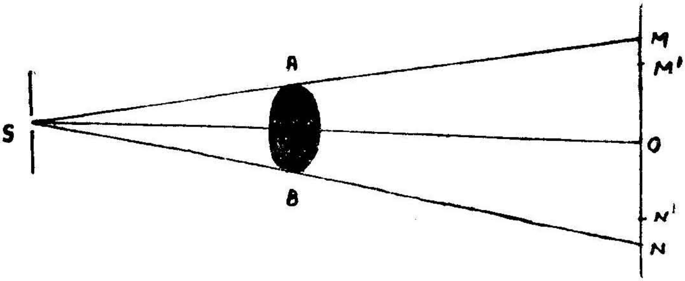
ஒளிச்செறிவு பெருமமாகவும்,

$\frac{xd}{D} = n\lambda$ ஆனல் சிறுமமாகவுமிருக்கும். ஒரு பெரும வரி $x_1$ தொலைவிலும், அடுத்த பெரும வரி $x_2$ தொலைவிலுமிருந்தால்,

$$x_2 - x_1 = \frac{D\lambda}{d}.$$

$(x_2 - x_1)$ என்பது இரு பெரும வரியின் இடையிலுள்ள தூரம் அல்லது வரி அகலம். வரி அகலம் $= \frac{D\lambda}{d}$ என்று ஆகிறது. இதிலிருந்து வரியின் அகலம் $n$ ஐப் பொறுத்ததன்று என்று ஆகிறது. ஆகையால், எல்லா வரிகளும் ஓர் அகலத்திலிருக்கும்.

11·12. ஒரு சிறு ஒளிபுகா வட்டத்தட்டில் விளிம்பு விளைவு :




படம் 11·8

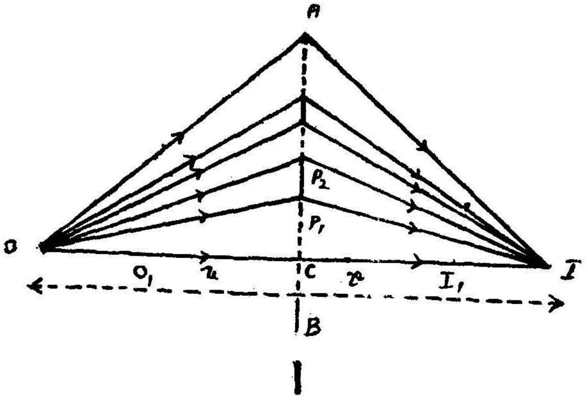
S என்ற ஒரு புள்ளி ஒளி மூலத்திலிருந்து பரவும் ஒளிப்பாதையில் AB என்ற ஒரு சிறு ஒளிபுகா வட்டத்தட்டை வைத்தால் பொதுவாக அது திரையில் MN என்ற நிழற்பகுதியை ஏற்படுத்த வேண்டும். ஆனல், ஒளி, வட்டத்தட்டின் விளிம்பில் சிறிது வளைந்து செல்வதால் MN பகுதியின் ஓரத்தில் ஒளிச்செறிவு சிறிது குறைந்து நிழல் பகுதி M′ N′-ல் தான் தொடங்குகிறது. இந்த நிழலைச்சுற்றி ஒளி-இருள் வளையங்களிருக்கும். இந்த நிழலின் மையம் O-விலேற்படும் ஒளிச்செறிவைக் காண, AB-யிலுள்ள அலைமுகப்பை O-விற்கு ஏற்ப அரை அலைவு நேரக்கூறுகளாகப் பிரித்து AB வட்டத்தட்டு எத்தனை அரை அலைவு நேரக்கூறுகளை மறைக்கிறது என்று காண வேண்டும். முதல் $n$ கூறுகளை மறைத்தால் O-விலேற்படும் ஒளிச்செறிவு அங்கு ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி,

$$d_{n+1} - d_{n+2} + d_{n+3} - d_{n+4} \dots\dots\dots$$
$$= \frac{d_{n+1}}{2} \text{க்கு}$$

ஏற்ப இருக்கும். ஆகையால் O இருளாக இருக்காது. இதனால் நிழலின் மையப்புள்ளி ஒளிப்புள்ளியாக இருப்பதற்கு வழியுண்டென்று ஆகிறது. எனினும், தடைபொருள் எவ்வளவு சிறிதாக இருந்தாலும் முக்கிய, அரை அலைவு நேரக்கூறுகளை மறைத்து விடுவதால் மையப்புள்ளியிலேற்படும் ஒளிச்செறிவு மிகக் குறைவாகத் தானிருக்கும்.

11·13. மண்டிலத் தட்டு (Zone plate): ஒளி நேர்கோட்டுப் பரவலை அலையியக்கக் கொள்கையைக் கொண்டு விளக்குவதற்கு ஃப்ரெனெலின் அரை அலைவு நேர மண்டிலங்களைப் பயன்படுத்தினோம். இத்தகைய அரை அலைவு நேர மண்டிலமுறையின் உண்மையை மண்டிலத்தட்டு வியக்கத்தக்க வகையில் நிரூபித்துக் காட்டுகிறது. இது, மண்டிலப் பிரிவு முறையைச் சோதித்துப் பார்ப்பதற்குப் பயன்படும் ஓர் ஒளியியல் முறையாகவும் அமைகிறது. அரை அலைவு நேர மண்டிலங்களாகப் பிரிக்கப்படுவதன் காரணமாக இதற்கு மண்டிலத்தட்டு என்று பெயரிடப்பட்டுள்ளது.

படம் 11·9-ல் AB தாள் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக உள்ள ஓர் ஒளிபுகு சம தளத்தைக் குறிக்கும். O என்ற புள்ளியில் ஓர் ஒளி மூலம் இருப்பதாகக் கொள்வோம். O-வின்வழி AB தளத்திற்கு வரையப்பட்ட நேர்குத்துக்கோட்டை AB-யின் மறுபுறத்திற்கு நீட்டி அந்தக் கோட்டில் I என்ற புள்ளியில் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவைக் காண்போம்.




படம் 11·9

OI அச்சு, AB தளத்தை C-ல் சந்திக்கட்டும். மேலும் $OC=u$ என்றும் $CI=v$ என்றும் கொள்வோம். AB தட்டில் OI-க்கு நேர்குத்துக் கோட்டில் $P_1$, $P_2$, $P_3$, ... ... ... $P_n$ என்ற புள்ளிகளை முறையே,

$$OP_1 + P_1 I = u + v + \frac{\lambda}{2}$$

$$OP_2 + P_2 I = u + v + 2.\frac{\lambda}{2}$$

... ... ... ...

... ... ... ...

$$OP_n + P_n I = u + v + n.\frac{\lambda}{2}$$

என்று இருக்குமாறு குறிக்கவும். C மையமாகவும் $CP_1$, $CP_2$,...... $CP_n$ இவைகளை ஆரங்களாகவும் கொண்டு AB தட்டில் வட்டங்கள் வரையவும். O-விலிருந்து கிளம்பி $CP_1$-ஐ ஆரமாகக் கொண்டு வட்டப்பரிதியின் வழி I-ஐ அடையும் அலைகள் ஒரு கட்டத்தி லிருக்கும். இதேபோல் O-விலிருந்து $P_2$ வட்டப்பரிதியின்வழி I-ஐ அடையும் அலைகள் பிறிதொரு கட்டத்திலிருக்கும். உள்பகுதியி லிருக்கும் $CP_1$-ஐ ஆரமாகக் கொண்ட வட்டப்பரப்பு, முதல் அரை அலைவு நேர மண்டிலம். $CP_2$ ஆர வட்டத்திற்கும் $CP_1$ ஆர வட்டத் திற்கு மிடைப்பட்ட வளையப் பரப்பு இரண்டாம் அரை அலைவு நேர மண்டிலமாகும். இதேபோல் அடுத்தடுத்த இரு வட்டங்களுக் கிடையிலுள்ள வளையப் பகுதிகள் ஒவ்வொன்றும் ஒவ்வோர் அரை அலைவு நேர மண்டிலமாகும். O-விலிருந்து I-ஐ அடைய எந்த வொரு மண்டிலத்தின் ஒரு புள்ளி வழியாகச் செல்லும் அலையும் அதற்குமுன் மண்டிலத்தின் ஒத்த புள்ளிவழியாகச் செல்லும் அலையைவிட அரை அலைவு நேரப்பாதை அதிகம் கடக்க வேண்டும். ஆகையால் அடுத்தடுத்த எந்த இரு மண்டிலங்களின் வழியாக I-ஐ அடையும் அலைகளும் எதிர்கட்டத்திலிருக்கும். ஆகையால் ஒன்றையொன்று அழித்துக்கொள்ள முற்படும். மாறாக, ஒன்று விட்டொன்றான மண்டிலங்களிலிருந்து I-ஐ அடையும் அலைகள் ஒன்றோடொன்று வலிவூட்டிக் கொள்ளும். '$n$' வட்டப் பகுதியின் ஆரத்தை $r_n$ என்று கொண்டால் $CP_n = r_n$ என ஆகும்.

மேலும், $OP_n^2 = r_n^2 + u^2$

$$OP_n = u\left\{1 + \frac{r_n^2}{u^2}\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$\frac{r_n^2}{u^2}$ = குறைந்த பின்னமாக இருப்பதால்,

$$OP_n = u\left\{1 + \frac{r_n^2}{2u^2}\right\}$$

$$= u + \frac{r_n^2}{2u}$$

$$IP_n^2 = v^2 + r_n^2 = v^2 \left\{1 + \frac{r_n^2}{v^2}\right\}$$

$$IP_n = v + \frac{r_n^2}{2v}$$

ஆகையால்,

$$OP_n + IP_n = u + \frac{r_n^2}{2u} + v + \frac{r_n^2}{2v}$$

$$= u + v + \frac{r_n^2}{2}\left\{\frac{1}{u} + \frac{1}{v}\right\} \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}17$$

ஆனால் வரைமுறைப்படி

$$OP_n + IP_n = u + v + n\frac{\lambda}{2}$$

ஆகையால், $u + v + n\frac{\lambda}{2} = u + v + \frac{r_n^2}{2}\left\{\frac{1}{2} + \frac{1}{v}\right\}$

அல்லது $$r_n^2 = \frac{n\lambda}{\left\{\frac{1}{u} + \frac{1}{v}\right\}} \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}18$$

அதாவது 'n' மண்டிலப் பகுதியின் வெளி ஆரம் $= \sqrt{\dfrac{n\lambda}{\frac{1}{u} + \frac{1}{v}}}$

$$= \sqrt{\frac{\lambda}{\frac{1}{u} + \frac{1}{v}}} \cdot \sqrt{n} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}19$$

அதாவது $n$ மண்டிலப் பகுதியின் வெளி ஆரம் $n$-ன் இருபடி மூல (square root) வீதத்திலிருக்கிறது. ஆகையால், முதல் இரண்டாவது என்ற வட்டப்பகுதிகளின் ஆரங்களும் 1, 2, 3......என்ற எண்களின் இருபடி மூலவீதத்திலிருக்கும்.

அடுத்து '$n$' அரை அலைவு நேர மண்டிலத்தின் பரப்பு,

$$= \pi r_n^2 - \pi r_{n-1}^2$$

$$= \frac{\pi\lambda}{\frac{1}{u} + \frac{1}{v}}\left\{(n - n - 1)\right\}$$

$$= \frac{\pi\lambda}{\frac{1}{u} + \frac{1}{v}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}20$$

'$n$' மண்டிலத்தின் பரப்பு '$n$' ஐப் பொறுத்ததில்லை. ஆகவே எல்லா மண்டிலங்களின் பரப்புகளும் சமமாக இருக்கும். ஆனால், இந்த

மண்டிலங்களின்வழி செல்லுகின்ற அலைக்குட்டிகள் I-ல் ஏற்படுத்தும் இடப்பெயர்ச்சி மண்டிலங்களின் பரப்பின் காரணமாக சமமாக இல்லாமல், மண்டிலங்களின் தொலைவு காரணமாகவும் சாய்வு காரணமாகவும் படிப்படியாகச் சிறிது குறைந்திருக்கும்.

உதாரணமாக முதல், இரண்டாம், மூன்றும் மண்டிலங்களின் வழி செல்லும் அலைகள் I-ல் ஏற்படுத்தும் இடப்பெயர்ச்சிகள் முறையே $d_1, d_2, d_3 \ldots \ldots \ldots d_n$ என்று கொண்டால் $d_1 > d_2 > d_3 \ldots > d_n$ என ஆகும். மேலும் அடுத்தடுத்த மண்டிலங்களினால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி எதிர்த்திசையிலிருக்கும். எனவே, I-ல் ஏற்படும் கூடுதலிடப் பெயர்ச்சி

$$= d_1 - d_2 + d_3 - d_4 + \ldots\ldots \pm dn$$

$$= \frac{d_1}{2} \pm \frac{d_n}{2}$$ (முன் பிரிவில் காட்டியது போல்)

$$= \frac{d_1}{2}$$

ஆகையால், எல்லா மண்டிலங்களின் வழியாகவும் அலைகள் I-ஐ அடைந்தால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி முதல் மண்டிலத்தினாலேற்படும் இடப்பெயர்ச்சியில் பாதியாகும். அதாவது முழுத்தட்டின் வழி ஒளி அலைகள் பரவினால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி $d_1/2$ ஆகும். மாறாக, இரட்டைப்படை மண்டிலங்களின்வழி அலைகள் பரவாமல் தடுத்தால் I-ல் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி

$$= d_1 + d_3 + d_5 + \ldots + d_n \text{ ஆகும்.}$$

இது முழுத்தட்டின்வழி பரவுதலால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சியை விடப் பல மடங்கு அதிகமாகிறது. ஆகையால், I-ல் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவும் பலமடங்கு அதிகரிக்கும் அல்லது O-விலிருந்து வரும் ஒளி I-ல் குவிக்கப்படுகிறது. ஆகையால் I, O-வின் பிம்பமாகும்.

இவ்வாறு அரை அலைவு நேர மண்டிலங்களாகப் பிரிக்கப்பட்டு, அடுத்தடுத்த மண்டிலங்களின்வழி ஒளி புகாமல் செய்யப்பட்ட தட்டு, மண்டிலத்தட்டு (zone plate) எனப்படும். மண்டிலத்தட்டு அமைக்க ஓர் ஒளியியல் சமதள ஒளிபுகு தட்டில் ஆரங்கள் முறையே $\sqrt{1}, \sqrt{2}, \sqrt{3} \ldots \ldots \ldots \sqrt{n}$ வீதத்திலிருக்குமாறு வட்டங்கள் வரையவேண்டும். பின்னர் ஒற்றைப்படை மண்டிலங்களில் கருப்பு வண்ணம் பூசிவிட்டு இந்தப் படத்தைக் கொண்டு ஒரு புகைப்படம் எடுத்தால் எதிர்ப்படத்தில் (negative plate) இரட்டைப்படை மண்டிலங்கள் கருப்பாக ஒளிபுகமுடியாமலும் ஒற்றைப்படை மண்டிலங்கள் ஒளிபுகுமாறுமிருக்கும். இதனையே மண்டிலத் தட்டாகப் பயன்படுத்தலாம்.

11·14. மண்டிலத்தட்டும் குவி வில்லையும் : மண்டிலத் தட்டையும், ஒரு குவிவில்லையையும் ஒப்பிட்டுப் பார்த்தால் இரண்டும் S-ன் பிம்பத்தை I-ல் விழச்செய்கின்றன. குவிவில்லையில் $f$ அதனுடைய குவிய தூரமானால்,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \text{ ஆகும்.}$$

மண்டிலத்தட்டில் சமன்பாடு 11·18-ன்படி,

$$r_n^2 = \frac{n\lambda}{\frac{1}{u} + \frac{1}{u}}$$

அல்லது

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{n\lambda}{r_n^2}$$

என ஆகிறது.

ஆகையால் மண்டிலத்தட்டு $\frac{n\lambda}{rn^2}$ குவி தூரமாகக் கொண்ட ஒரு குவிவில்லையை ஒத்திருக்கிறது. அல்லது மண்டிலத்தட்டின் குவி தூரம்,

$$\frac{1}{f} = \frac{n\lambda}{r_n^2}$$

அல்லது, $f = \frac{r_n^2}{n\lambda}$ எனக் கொள்ளலாம். ... ... ... 11·21

மேலும் அதே மண்டிலத்தட்டு அச்சில், O, I இவைகளின் நிலையை $O_1$, $I_1$ என்ற புள்ளிகளுக்கு,

$$O_1\,Pn + Pn\,I_1 = u_1 + v_1 + 3n\frac{\lambda}{2} \text{ என்றிருக்குமாறு}$$

மாற்றினால், ஒவ்வோர் அரை அலைவு நேர மண்டிலமும் மூன்று அரை அலைவு நேர மண்டிலங்களைக் கொண்டிருப்பதாகும். அப்பொழுது $I_1$-ல் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி,

$$= d_1 - d_2 + d_3 + d_7 - d_8 + d_9 + d_{13} - d_{14} + d_{15}$$

என ஆகும்.

இரட்டைப்படை மண்டிலங்கள் மறைக்கப்பட்டிருப்பதால் அதனால் ஏற்படுகின்ற இடப்பெயர்ச்சிகள் $I_1$-ல் ஏற்படா. கூடுதல் இடப்பெயர்ச்சி $= \frac{d_1}{2} + \frac{d_3}{2} + \frac{d_7}{2} + \frac{d_9}{2} + \ldots$ இது மீண்டும் $\frac{d_1}{2}$ வை விடை அதிகம். இந்தப்புள்ளி மண்டிலத்தட்டின் மற்றொரு குவியமாகும். இப்பொழுது,

$$\frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1} = \frac{3\,n\lambda}{r_n^2} \text{ என்று ஆகிறது.}$$

அல்லது,

$$f_2 = \frac{r_n^2}{3n\lambda} \text{ என ஆகும்.}$$

$$= \frac{1}{3} f_1 \text{ என ஆகும்.} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 11{\cdot}22$$

இதேபோல் மண்டிலத்தட்டு மேலும் $\frac{f_1}{5}$, $\frac{f_1}{7}$, ... ... போன்ற குவியங்களையும் கொண்டிருப்பதாகக் காட்டலாம். ஆனால் இங் கெல்லா மேற்படும் ஒளிச்செறிவு குறைந்து கொண்டு வரும்.

ஒரு மண்டிலத்தட்டின் குவி தூரம் $f = \frac{r_n^2}{n\lambda}$

ஆனால் ஒரு குவிவில்லையின் குவி தூரம் $f = \frac{1}{(\mu - 1)}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$

ஆகையால், மண்டிலத்தட்டின் குவி தூரம் ஒளி அலைநீளத்திற்கு எதிர் வீதத்திலிருக்கும். ஆனால், குவி வில்லையின் குவி தூரம் ஒளி அலை நீளத்திற்கு நேர்வீதத்திலிருக்கும். ஆகையால் குவி வில்லையில் குவிய தூரம் சிவப்பு நிறத்திற்கு அதிகமாகவும் ஊதா நிறத்திற்குக் குறைவாகவுமிருக்கும். ஆனால், மண்டிலத்தட்டில் ஊதாவிற்கு அதிகமாகவும் சிவப்பிற்குக்குறைவாகமிருக்கும். குவிவில்லையில் ஒளி, மூலத்திலிருந்து பிம்பத்தை அடைய வில்லையின் எந்தப் பகுதி வழியாகவும் ஒரே நேரத்தில் செல்லும். ஆனால் மண்டிலத்தட்டில் எந்த மண்டிலத்தின் வழியாகச் செல்லும் ஒளி அலைகளும் அதற்கு முந்தைய மண்டிலத்தின் வழியாகச் செல்லும் ஒளி அலைகளை விட ஓர் அலைவு நேரம் பின்தங்கி அடையும்.

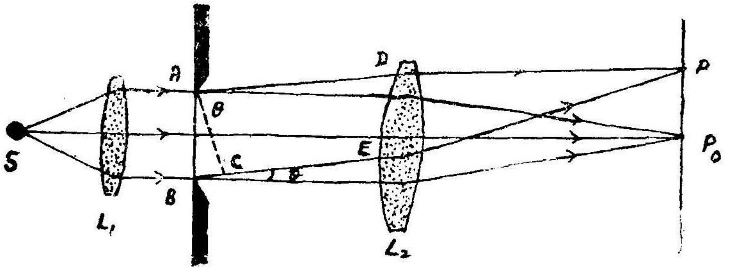
குவிவில்லைக்கு, ஒரு குவியந்தான் உண்டு. ஆனால் மண்டிலத்தட்டிற்குப் பல குவியங்கள் உண்டு.

11·15. கட்டம் மாற்றிய மண்டிலத்தட்டு (Phase reversal zone plate) : மண்டிலத் தட்டில், இரட்டைப்படை மண்டிலங்களின்வழி ஒளிபுகாமல் செய்வதற்குப்பதில் அவற்றின் பாதை தூரம் $\lambda/2$ நீளம் மாறும்படி செய்தால், இந்த மண்டிலங்களின் வழிசெல்லும் அலைகளும், ஒற்றைப்படை மண்டிலங்களின்வழி செல்லும் அலைகளும் I-ல் ஒரே கட்டத்தில் வந்தடையும். ஆகையால் I-ல் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி $= d_1 + d_2 + d_3 + \dots$ ஆகும். ஆகையால் ஒளிச்செறிவு பலமடங்கு அதிகரிக்கும். இவ்வாறு இரட்டைப்படை மண்டில அலைகளின் கட்டங்களை மாற்றி ஒளிச்செறிவு அதிகரிக்கும் மண்டிலத்தட்டிற்குக் கட்டம் மாற்றிய மண்டிலத்தட்டு என்று பெயர். ஒரு கண்ணாடித்தட்டில் பொட்டாசியம் டைகுரோமேட்டுடன்கூடிய ஒரு ஜலட்டின் மென்படலம் தடவப்படும். இந்த மென்படலத்தின் கனம் $\lambda/2$ ஒளிப்பாதை நீளம் உடையதாக இருக்கும். இதன்மீது

ஒரு மண்டிலத் தட்டை வைத்து ஒளிபாயச் செய்தால் ஒளிபுகும் பகுதிகளில்உள்ள ஜலட்டின்திடப்பட்டுக் கரையாநிலை அடைகிறது. பின் இந்தக் கண்ணுடித் தட்டிலுள்ள ஒளிபடாத பகுதிகளில் உள்ள ஜலட்டினை நீக்கிவிட முடியும். இவ்வாறு அமைக்கப்பட்ட கண்ணுடித் தட்டு கட்டமாற்றிய மண்டிலத் தட்டாகச் செயல்படும்.

ஃப்ரான்ஹோபர் விளிம்பு விளைவு (Fraunhofer diffraction)

11·16. ஒற்றைச் சிறுபிளவில் விளிம்பு விளைவு : (Diffraction due to a single slit) : இவ்வகையில் விளிம்பு விளைவிற்கு ஆட்படுகின்ற ஒளியின் மூலமும், விளிம்பு விளைவைக் காட்டுகின்ற திரையும் எண்ணிலாத் தொலைவிலிருக்கின்றன. ஒரு குவிவில்லையின் குவியத்தில் ஒளிமூலத்தை வைப்பதன்மூலமும், விளிம்பு விளைவு ஏற்படுத்துகின்ற தடைபொருளில் படும் அலை முகப்பை சமதள அலைமுகப்பாகச் செய்யலாம். இந்த சமதள அலைமுகப்பை ஒரு குவிவில்லையின் மூலம் திரையில் குவியச் செய்யலாம்.




படம் 11·10

படம் 11·10-ல் AB ஒரு சிறுபிளவின் தாள் தளத்திலேற்படும் குறுக்கு வெட்டுப் பகுதியைக் குறிக்கிறது. சிறுபிளவின் அகலம் '$e$' என்று கொள்வோம். S என்ற ஓர் ஒற்றை நிற ஒளி மூலத்திலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் $L_1$ என்ற ஒரு குவிவில்லையினுல் இணையாக்கப்பட்டு AB சிறுபிளவில் விழுகின்றன. இதனுல் திரையிலேற்படும் ஒளிச்செறிவின் அமைப்பை ஆராய்வோம்.

சிறு பிளவில் விழும் ஒளிக்கதிர்கள் இணையாக இருப்பதால், அங்குச் சமதள அலைமுகப்பு ஏற்படுவதாகக் கொள்ளவேண்டும். ஹைஜயன் கொள்கைப்படி இந்தச் சிறு பிளவிலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஒளிமூலமாகி இரண்டாம்நிலை அலைக்குட்டிகளைத் தோற்றுவிக்கும். இந்த அலைக்குட்டிகளெல்லாம் ஒரே கட்டத்தையும் ஒரே அதிர்வெண்ணையும் கொண்டிருக்கும். இந்த அலைகள் சிறுபிளவின் வலப் புறத்தில் எல்லாத் திசைகளிலும் பரவுகின்றன. சிறுபிளவிற்கு நேர்குத்துத் திசையில் செல்லும் அலைகளை ஒரு குவிவில்லையின் மூலம் திரையின் $P_0$ என்ற புள்ளியில் ஒன்றுகுவித்தால், இந்த

அலைகளெல்லாம் ஒரே பாதை தூரம் கடந்திருப்பதால், ஒரே கட்டத்தி லிருக்கும். ஆகையால் அந்த இடத்திலேற்படும் இடப்பெயர்ச்சி பெருமமாகவும், அதனுல் ஒளிச்செறிவு பெருமமாகவு மிருக்கும்.

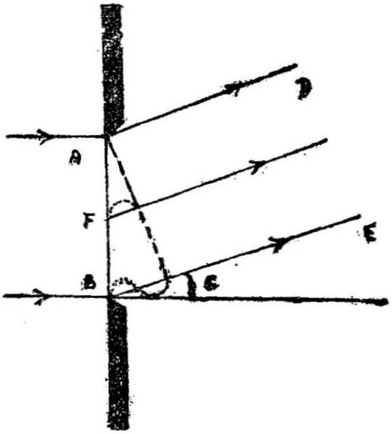
சிறு பிளவின் நேர்குத்துக்கு $\theta^{\circ}$ கோணம் சாய்வாக AD, BE திசைகளில் செல்லும் அலைகளைக் குவித்தால் அவை திரையில் $P_1$ என்ற புள்ளியில் குவியும். இப்பொழுது $P_1$-ல் ஏற்படும் ஒளிச் செறிவு எவ்வாறிருக்குமென்று பார்ப்போம்.

படம் 11·11-ல் AC என்பது A-யிலிருந்து BE-க்கு வரையப்பட்ட நேர்குத்துக்கோடு. A-யிலிருந்து செல்லும் அலைகளும் B-யிலிருந்து செல்லும் அலைகளும் முறையே A-யையும், C-யையும் கடந்தபின் சமபாதையில் செல்லுகின்றன. ஆகையால், இரு முனைகளிலிருந்தும் AD, BE திசைகளில் செல்லும் அலைகளின் பாதைவேறுபாடு BC ஆகும்.

ஆனுல் $BC = AB \sin\theta$

$$= e \sin\theta \qquad \dots \quad \dots \quad \dots \qquad 11{\cdot}23$$

இந்தப் பாதைவேறுபாடு $e \sin\theta = \lambda$ எனக் கொள்வோம். F என்ற புள்ளி AB பகுதியை இரு சம பிரிவாக்குவதாகக் கொண்டால் A,F என்ற இரு புள்ளிகளிலிருந்தும் தோன்றி, முறையே AD திசையிலும் அதற்கு இணையாகவும் செல்லும் இரு அலைகளின் பாதைவேறுபாடு $\lambda/2$ ஆகும்.



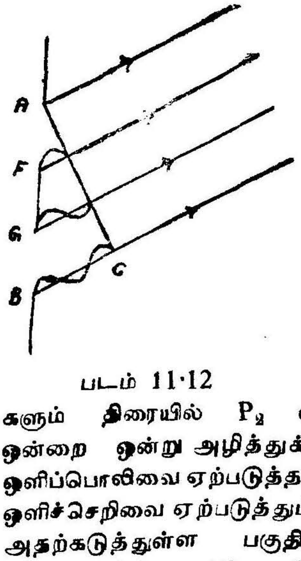

படம் 11·11

இதேபோல் மேல்பகுதியின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலிருந்து வரும் அலை களிலிருந்து, கீழ்ப்பகுதியின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலிருந்து வரும் அலைகள் $\lambda/2$ பாதைவேறுபாடு கொண்டிருக்கும். ஆகையால் லைகள் ஒன்றுக்கொன்று எதிர்கட்டத்திலிருக்கும். இந்த

அலைகளை $P_1$ என்ற புள்ளியில் சந்திக்கச் செய்தால் அங்கு ஏற்படும் கூடுதலிடப்பெயர்ச்சி சுழியாகும். ஆகையால் ஒளிச்செறிவும் சிறுமமாகவிருக்கும்.

AB-யின் நேர்குத்திலிருந்து இன்னும் கூடுதலாக, $\theta_2°$ கோணம் சாய்ந்து செல்கின்ற அலைகளை நோக்குவோம். இப்பொழுது A-யிலிருந்து செல்லும் அலைக்கும் B-யிலிருந்து செல்லும் அலைக்குமுள்ள பாதைவேறுபாடு 3 $\frac{\lambda}{2}$ என்று கொள்வோம். அதாவது $\theta_2$ கோணம் அதிகரித்து,

$e \sin \theta_2 = \frac{3}{2} \lambda$ என ஆகும். அல்லது A-யிலிருந்து கிளம்பும் அலைக்கும் B-யிலிருந்து கிளம்பும் அலைக்குமுள்ள பாதை வேறுபாடு $\frac{3\lambda}{2}$ ஆகும்.



படம் 11·12

படம் 11·12-ல் F, G என்ற புள்ளிகள் AB சிறுபிளவை மூன்று சமபிரிவுகளாகப் பிரிப்பதாகக் கொள்வோம். இப்பொழுது A-யிலிருந்து கிளம்பும் அலையும் F-லிருந்து கிளம்பும் அலையும் $\lambda/2$ பாதை வேறுபாட்டிலிருக்கும். இதேபோல் AF பகுதியிலிருந்து கிளம்பும் ஒவ்வோர் அலையும் FG பகுதியிலிருந்து கிளம்பும் இணைந்த அலைகளிலிருந்து அரை அலைநீளம் பாதைவேறுபாடு கொண்டிருக்கும். ஆகையால் AF பகுதி அலைகளும் FG பகுதி அலைகளும் திரையில் $P_2$ என்ற புள்ளியில் சந்திக்கச் செய்தால் ஒன்றை ஒன்று அழித்துக்கொள்ளும். எனவே, அவை $P_2$-வில் ஒளிப்பொலிவை ஏற்படுத்தாது. ஆனால் GB பகுதி அலைகள் மட்டும் ஒளிச்செறிவை ஏற்படுத்தும். ஆகையால் திரையின் இந்தப் பகுதி அதற்கடுத்துள்ள பகுதியைவிட ஒளிச்செறிவு மிகுந்திருக்கும். எனினும் AB-ன் 1/3 பகுதிதான் செயல்படுவதால், $P_0$-விலேற்படும் ஒளிச்செறிவைவிட இது மிகவும் குறைவாகத்தான் இருக்கும்.

இதேபோல் AB-யிலிருந்து கிளம்பும் அலைகள்

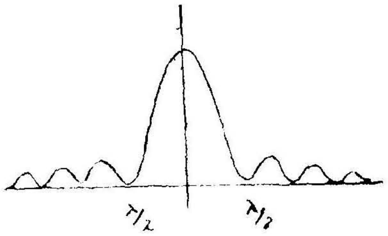
$$e \sin \theta = 2\lambda,\ 3\lambda,\ 4\lambda,\ \ldots n\lambda$$

என்று ஆகக் கூடிய திசைகளில் செல்லும்பொழுது தங்களை முழுதும் அழித்துக்கொள்வதனல் ஒளிச்சிறுமத்தையும்,

$$e \sin \theta = \frac{\lambda}{2},\ 3\frac{\lambda}{2},\ 5\frac{\lambda}{2} \quad \ldots \quad \ldots \quad 2n\text{-}1)\lambda/2$$

என்று ஆகக்கூடிய திசைகளில் செல்லும்பொழுது முழுதுமோ, ஒரு

பகுதியோ வலிவூட்டிக்கொள்வதால் ஒளிப் பெருமத்தையும் ஏற்படுத்தும்.




படம் 11·13

ஆகையால், ஒற்றைச் சிறுபிளவில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம் ஒளிப்பொலிவு மிகுந்த மையப்பெருமத்தை $P_0$-விலும், அதன் இருபக்கங்களிலும் இரண்டாம் நிலைப் பெருமங்களையும், சிறுமங்களையும் மாறிமாறிக் கொண்டிருக்கும். இரண்டாம் நிலை ஒளிப்பெருமங்களில் ஒளிச்செறிவு மையத்திலிருந்து விலகிச் செல்லச்செல்ல விரைவாகக் குறைந்துகொண்டுவரும். சிறுமங்கள் இருளாக இருக்கும். படம் 11·13 ஒளிச்செறிவு வேறுபடும் விதத்தை விளக்குகிறது. படம் 11·10-ல் $L_2$ வில்லையைச் சிறுபிளவிற்கு அருகில் வைத்தால்

$$\sin\theta = \frac{x}{f}$$ எனக் கொள்ளலாம்.

$x$ திரையில் $P_0$-விலிருந்து முதல் சிறுமத்தின் தொலைவு, $f$, L குவிவில்லையின் குவிய தூரம் ஆனால் முதல் சிறுமம் ஏற்பட

$$e\sin\theta = \lambda$$ என்று கண்டோம்.

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{e}$$

ஆகையால் $\frac{x}{f} = \frac{\lambda}{e}$ என்று ஆகும்.

ஆகையால் மையப்பெருமத்திலிருந்து ஒரு பக்கத்திலுள்ள முதல் சிறுமம் உள்ள தூரம் $x = \frac{f\lambda}{e}$ ஆகும். இதேபோல் மறுபுறத்துத் தூரம் $x = \frac{f\lambda}{e}$ என ஆகும்.

அல்லது மையப்பெருமம், $P_0$-விலிருந்து இரு பக்கமும் $x$ தொலைவு பரவி இருக்கும். ஆகையால் மையப்பெருமத்தின் அகலம்

$$2x = \frac{2f\lambda}{e}$$ என ஆகும்.

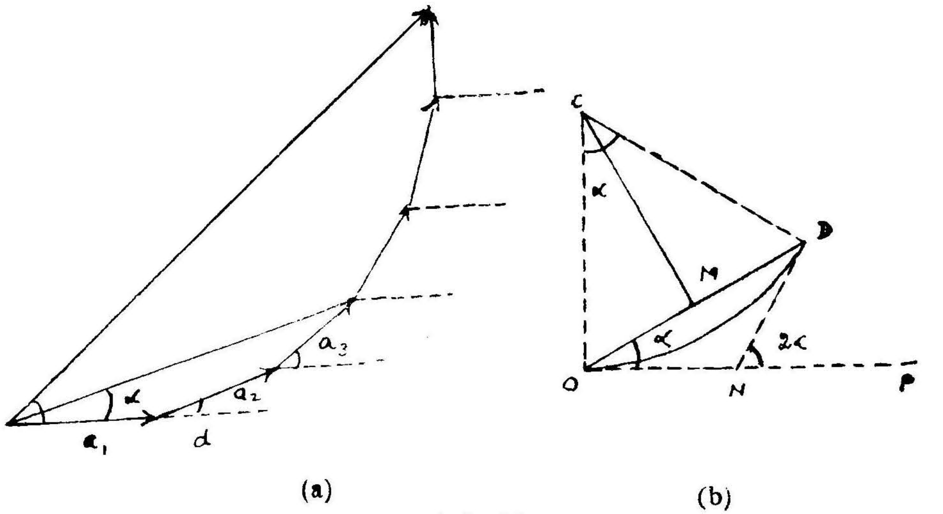
மையப்பெருமத்தின் அகலம் அலைநீளத்திற்கு நேர்விதத்திலிருக்கும். ஆகையால் சிவப்பு நிற அலைகள், ஊதா நிற அலைகளைவிட அகலமான மையப்பெருமத்தை ஏற்படுத்தும். மையப் பெருமத்தின் அகலம் சிறுபிளவின் அகலத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கும். சிறுபிளவின் அகலம் குறைந்தால் மையப்பெருமத்தின் அகலம் கூடுதலாகும்.

1·11. சிறுபிளவு விளிம்பு விளைவின் பகுப்பாய்வு (Analytical treatment of diffraction due to single slit):

படம் (11·10)-ல் AB சிறுபிளவில் சமதள அலைமுகப்பு விழுந்தவுடன் சிறுபிளவிலுள்ள ஒவ்வொரு துகளிலிருந்தும் இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகள் தோன்றி, பரவச் செய்யும். இந்த அலைக்குட்டிகள் அனைத்தும் ஒரே அலைவீச்சையும் ஒரே கட்டத்தையும் கொண்டிருக்கும். இந்த அலைக்குட்டிகளைத் திரையில் $P_1$ என்ற புள்ளியில் சந்திக்கச் செய்தால் இவைகளின் அலைவீச்சுகள் ஒன்றுகவும், அவற்றின் கட்டங்கள் அலைகள் கடந்து வந்துள்ள பாதை நீளத்திற்கு ஏற்ப மாறியும் இருக்கும். உதாரணமாக A-யிலிருந்து வரும் அலைக்குட்டிக்கும் B-யிலிருந்து வரும் அலைக்குட்டிக்குமுள்ள பாதை வேறுபாடு $e \sin \theta$ ஆகும். இதேபோல் A-க்கும் B-க்கும் இடையிலுள்ள புள்ளிகளிலிருந்து பரவி $P_1$-ஐ அடையும் அலைக்குட்டிகளின் பாதை வேறுபாடுகள் O-விலிருந்து $e \sin \theta$ வரை படிப்படியாக வேறுபட்டிருக்கும். ஆகையால் $P_1$-ல் சந்திக்கும் அலைகளின் அலை வீச்சுகள் ஒன்றுக இருந்தாலும் கட்டங்கள் O-விலிருந்து $\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) e \sin \theta$ வரை மாறுபட்டிருக்கும். இந்த அலைக்குட்டிகள் $P_1$-ல் ஏற்படுத்துகின்ற இடப்பெயர்ச்சிகளின் தொகுபயன் அந்த இடத்தின் ஒளிச்செறிவை நிர்ணயிக்கும். ஆகையால் சிறுபிளவு $P_1$-ல் ஏற்படுத்தும் ஒளிச்செறிவைக் காண அங்கு இரண்டாம் நிலை அலைகளின் கூடுதலிடப் பெயர்ச்சியைக் காணவேண்டும். இதனை வெக்டார் தொகுப்பு முறையில் (vector addition) காண்போம்.

AB பிளவு எண்ணற்ற சம அலைவீச்சுள்ள, சமகட்ட அலைக்குட்டிகளைத் தோற்றுவிப்பதாகக் கொள்வோம். இந்த அலைகளை $P_1$-ல் சந்திக்கச் செய்தால், இந்த அலைகளில் பாதை வேறுபாடு O-விலிருந்து படிப்படியாகக் கூடுதலாகி வருகிறது. பாதை வேறுபாடு அதிகரிக்க அதிகரிக்க இந்த அலைக்குட்டிகளின் கட்ட வேறுபாடுகளும் அதற்கேற்ப அதிகரிக்கும். அடுத்தடுத்துத் தோன்றும் இரு அலைகளின் பாதை வேறுபாடு மிகவும் குறைவாக இருப்பதால் அவற்றின் கட்ட வேறுபாடும் மிகக் குறைவாகத்தானிருக்கும். இந்த அலைகளினுலேற்படும் தொகுபயன் அலைவீச்சை, வெக்டார் பட

முறையில் (vector diagram) தொகுக்கலாம். இதனைப் படம்-11.14 விளக்குகிறது.




படம் 11.14

படம் 11·14 ($a$)-ல் $a_1, a_2, a_3$ என்ற மூன்று அலைவீச்சுகள் ஒன்றுக்கொன்று $d$ கட்டம் வேறுபட்டிருக்கிறது. இவற்றின் தொகு பயன் OC ஆகும். இவற்றின் கட்டவேறுபாடு α ஆகும். இதே போல் எண்ணற்ற அலைவீச்சுகளைத் தொகுக்க, அந்த அலைவீச்சுகள் படம் 11·14 ($b$)-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் ஒரு வட்ட வில்லில் அமையும். படத்திலிருந்து தொகுபயன் அலைவீச்சு OD என்றும் அதன் கட்டவேறுபாடு $(\widehat{DOP})$, α என்றும் ஆயிற்று. AB பிளவின் (படம் 11·10) A-யிலிருந்தும் B-யிலிருந்தும் வரும் அலைகளின் கட்டவேறு பாடு 2α எனக் கொண்டால், படம் (11·14 $b$)-ல் கோணம் $\widehat{DNP} =$ 2α ஆகும். C வட்டவில்லின் மையமானால் $\widehat{OCD}$-யும் 2α ஆகும்.

ஆகையால்,

$$\sin \alpha = \frac{OM}{CO} \quad (\because CM \perp OD)$$

$$OM = CO. \sin \alpha$$

ஆகையால் $OD = 2. CO \sin \alpha$ ... ... 11·24

ஆனால் வட்டவில்லின் நீளம் சிறுபிளவிலிருந்து வரும் அலைகளின் எண்ணிக்கைக்கு ஏற்ப இருக்கும். அலைகளின் எண்ணிக்கை சிறு

பிளவின் அகலத்திற்கு ஏற்ப இருக்கும். ஆகையால் வட்டவில்லின் நீளம் சிறு பிளவின் அகலத்திற்கு ஏற்பவிருக்கும். அதாவது வட்ட வில் OD $\propto$ e (சிறுபிளவின் அகலம்)

அல்லது OD = ke (இங்கு K ஒரு மாறிலி)

$$\text{மேலும் } \widehat{OCD} = \frac{\text{வட்டவில்}}{\text{வட்ட ஆரம்}}$$

$$2\alpha = \frac{\text{வில் OD}}{CO}$$

$$= \frac{Ke}{CO} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}25$$

சமன்பாடுகள் (11·24), (11·25) இவைகளை இணைத்தால்

$$OD = \frac{ke}{\alpha} \sin \alpha$$

ஆகையால் P-ல் ஏற்படும் தொகுபயன் அலைவீச்சு

$$A = ke \frac{\sin \alpha}{\alpha}$$

$$= Ao \frac{\sin \alpha}{\alpha} \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}26$$

இதில் Ao = ke. ஆகையால் $P_1$ல் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு

$$I = A^2 = Ao^2 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^2$$

$2\pi$ கட்ட வேறுபாடு ஏற்பட $\lambda$ பாதை வேறுபாடு கொண்டிருக்க வேண்டும். இதுவரை A-யிலிருந்து வரும் அலைக்கும் B-யிலிருந்து வரும் அலைக்கும் கட்டவேறுபாடு $2\alpha$ என்று கொண்டிருந்தோம். ஆகையால் இந்தக் கட்ட வேறுபாடு ஏற்படப் பாதை வேறுபாடு e sin $\theta$

$$2\alpha \frac{2\pi}{\lambda} e \sin \theta \text{ என்ற}$$

சமன்பாட்டிலிருக்கவேண்டும். அல்லது

$$\alpha = \frac{\pi}{\lambda} e \sin \theta \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}27$$

அல்லது தொகுபயன் அலைவீச்சின் கட்டவேறுபாடு ($\alpha$) விளிம்பு விளைவு கோணத்தின் சைன் விகிதத்திலிருக்கும்.

மேலும், எந்தப் புள்ளியிலும் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு

$$I = Ao^2 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^2 \text{ ஆகும்.}$$

ஆனால் $\alpha$-வின் மதிப்பு விளிம்பு வினைவு கோணம் $\theta$-வைப் பொறுத்துள்ளது. ஆகையால் திரையில் $P_1$ என்ற புள்ளி நகர நகரக் கோணம் $\theta$ மாறுகிறது. அதனால் $\frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2}$ மாறுகிறது. அதன் விளைவாக ஒளிச்செறிவும் மாறும். இந்த ஒளிச்செறிவு வேறுபாட்டை படம் 11·13 விளக்குகிறது.

(அ) ஒளிச்சிறும நிலைகள்: விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தில் ஒளிச் செறிவு சுழியாக இருக்க,

$$\frac{\sin \alpha}{\alpha} = 0 \text{ ஆக வேண்டும்.}$$

இந்தச் சமன்பாடு ஏற்பட $\alpha$ வின் மதிப்பு கீழ்க்கண்டவாறு இருக்க வேண்டும்.

$$\alpha = \pm \pi, \pm 2\pi, \pm 3\pi$$

$\alpha$-வின் இந்த மதிப்புக்களை சமன்பாடு 11·27-ல் பொருத்தினால்,

$$\alpha = \frac{\pi}{\lambda} e \sin \theta = \pm \pi; \pm 2\pi \;\ldots\ldots \pm n\pi$$

$$e \sin \theta = \pm \lambda; \pm 2\lambda \ldots \pm n\lambda \text{ என ஆகும்.}$$

$$\therefore e \sin \theta = n\lambda \text{ ஆகும்.} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad 11{\cdot}28$$

$n = 1, 2, 3$ என்று ஆகும்பொழுது முதல் இரண்டாம் மூன்றும் சிறும நிலைகளைக் குறிக்கும். ஆனால் $n = 0$ என்ற மதிப்புப் பொருந்தாது இந்த மதிப்பில் மையப் பெருமம் ஏற்படும். ஆகையால், சமன்பாடு 11·28-லிருந்து, கீழ்க்கண்டவாறு கூறலாம். 'சிறுபிளவின் இரு ஓரப்பகுதியிலிருந்து கிளம்பும் அலைகளின் பாதை வேறுபாடு அலை நீளத்தின் முழு எண் பெருக்கற் பலனுக்கு ஏற்ப அமைகின்ற கோணத்திலெல்லாம் ஒளிச்செறிவு சிறுமமாக இருக்கும்.'

(ஆ) ஒளிச்செறிவின் பெருமங்கள் : ஒளிச்செறிவு சமன்பாடு $I = A_0{}^2\left(\frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^2$ -விலிருந்து ஒளிப்பெரும நிலைகளைக் கணித முறைப்படி காணலாம்.

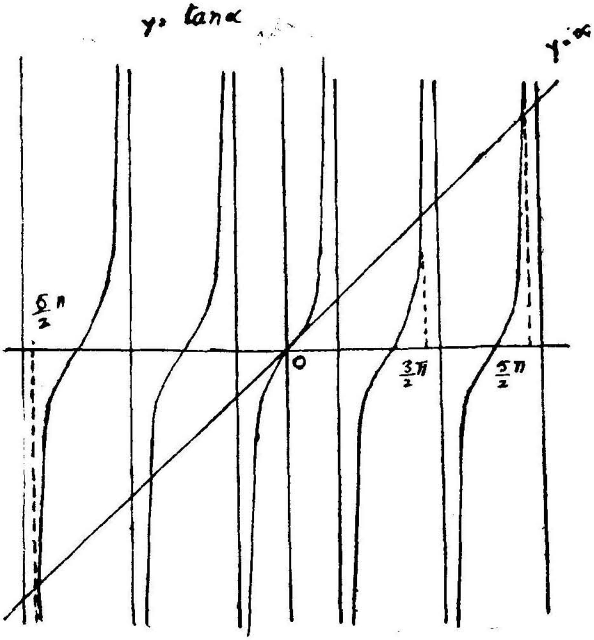
$$\frac{dI}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha}\left[ Ao^2 \left(\frac{\operatorname{Sin} \alpha}{\alpha}\right)^2 \right] = 0$$

இந்தச் சமன்பாட்டை விடுவித்தால் $\alpha = \tan \alpha$ என்று ஆகும்.

இந்தச் சமன்பாட்டை வரைபட முறையில் விடுவிக்க ஒரு வரை படத்தில்,

$Y = \alpha$ என்று ஒரு கோடும்,

$Y = \tan \alpha$ என்ற சமன்பாட்டின் வரை கோடுகளையும் வரைந்தால் இந்த இரு சமன்பாட்டுக் கோடுகளும் சந்திக்கின்ற புள்ளிகளின் $\alpha$ மதிப்பு, ஒளிப்பெருமங்கள் ஏற்படுவதற்கான $\alpha$-வின் மதிப்பாகும் (படம் 11•15).




படம் **11•15**

படத்திலிருந்து

$$\alpha = \pm \frac{3\pi}{2}, \pm \frac{\pi}{2}, \pm \frac{7\pi}{2} + \ldots (2n+1)\frac{\pi}{2}$$

அல்லது $\alpha = \frac{\pi}{\lambda} e \sin \theta = (2n+1)\frac{\pi}{2}$

$e \sin \theta = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ என ஆகின்றது.

$$\therefore e \sin \theta = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

என்றுகின்ற திசைகளில் பெருமங்கள் ஏற்படும்.

முதல் இரண்டாம் நிலைப் பெருமம்

$$e \sin \theta = \frac{3}{2}\lambda$$

$$\sin\theta = \frac{3}{2}\frac{\lambda}{e}$$ என்றுகும் பொழுது ஏற்படும்.

முதல் இரண்டாம் நிலைப் பெருமத்தின் ஒளிச்செறிவு

$$I = Ao^2 \left(\frac{\sin\frac{3\pi}{2}}{\frac{3\pi}{2}}\right)^2$$

$$= Io\left[\frac{-1}{\frac{3\pi}{2}}\right]^2$$ ($\because Io = Ao^2$ மையப் பெருமத்தின் ஒளிச்செறிவு)

$$= Io\frac{4}{9\pi^2}$$

$$= \frac{Io}{22}$$ என்றுகும்.

முதல் இரண்டாம் நிலைப் பெருமத்தின் ஒளிச்செறிவு மையப்பெருமச் செறிவில் 1/22 பகுதிதானிருக்கும். இதேபோல் இரண்டாம், இரண்டாம் நிலைப்பெருமம்.

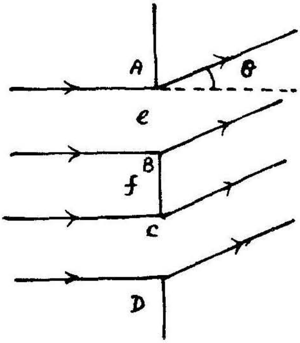
$$\sin\theta = \frac{5\lambda}{2e}$$ என்ற திசையில்

$$I = \frac{Io}{61}$$ என்ற ஒளிச்செறிவுடனிருக்கும்.

ஆகையால் பெருமங்களின் ஒளிச்செறிவு மிகவேகமாகக் குறைகிறது. அதனுல் ஒன்றிரண்டு பெருமங்களைத்தான் சாதாரணமாகக் காண முடியும்.

11·18. இரட்டைச் சிறு பிளவில் விளிம்பு விளைவு : (Diffraction due to the double slit) : படம் 11·16-ல் AB, CD என்பவை ஒன்றுக்கொன்று இணையாக அமைந்த நீள் சதுரவடிவில் அமைந்த சிறு பிளவுகள். இந்தச் சிறு பிளவுகள், தாள் தளத்திற்குக் குத்தாக இருப்பதாகக் கொள்ளவேண்டும். ஒவ்வொரு பிளவின் அகலம் 'e' என்றும் அவற்றினிடையிலுள்ள ஒளிபுகாப் பகுதியின் அகலம் '$f$' என்றும் கொள்வோம். இந்தப் பிளவுகளில் ஒரு சமதள அலைமுகப்பு விழுவதாகக் கொள்வோம். ஒவ்வொரு பிளவிலிருந்தும் இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகள்கிளம்பி நேர்த்திசையில் சென்று, எண்ணிலாத் தொலைவில் ஒன்றுக்கொன்று வலியூட்டிக் கொள்ளும் அல்லது ஒரு குவி வில்லையின்மூலம் குவியச்செய்தால், திரையில் ஒரு புள்ளியில் ஒன்றுக்கொன்று வலியூட்டிக்கொள்ளும். அந்த இடத்தில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி ஒரு பிளவில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி

யைப்போல் இருமடங்காக இருக்கும். ஆகையால் ஒளிச்செறிவு நான்கு மடங்காகும். ஆனால், ஒளி படுதிசையிலிருந்து சாய்வாகச் செல்கின்ற அலைகள் அவற்றின் சாய்வுக் கோணம் $\theta$, e sin $\theta = \lambda$ என்று ஆகும்பொழுது அந்தத் திசையில், திரையில் முதல் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தில் சிறுமம் தோன்றும். மேலும் e sin $\theta = 3\lambda/2$ என்று இருக்கும் திசைகளில் செல்லும் அலைகள், ஒளிப்பெருமத்தைத் தோற்றுவிக்கும். இதேபோல் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தின் மற்ற பெருமம், சிறுமங்களும் ஒற்றைப் பிளவில் தோன்றிய திசைகளில் தோன்றும். இந்தப் பெருமங்களும் சிறுமங்களும் இரு பிளவிற்கும் ஒரே திசையில் ஏற்படுவதால், பெருமங்களின் ஒளிச்செறிவு ஒற்றைப் பிளவினால் ஏற்படும் ஒத்த பெருமத்தைவிட அதிகமாகவிருக்கும்.



படம் 11·16

இவ்வாறு சிறு பிளவுகளின்வழி செல்லுகின்ற ஒளியால் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவுப்பாங்கினுடன் இரு பிளவுகளிலிருந்து பரவும் ஒளி அலைகள் ஒன்றுக்கொன்று குறுக்கிடுவதால் குறுக்கீட்டு விளைவும் தோன்றுகிறது.

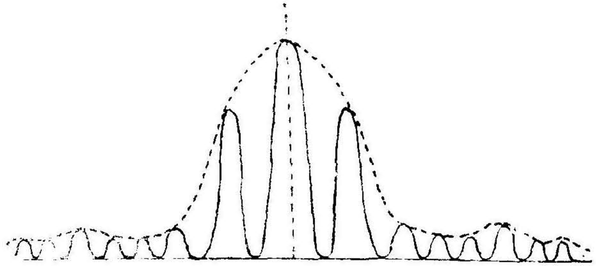
ஒளி அலைகள் தம் நேர்வழியிலிருந்து $\theta^\circ$ கோணம் சாய்ந்து செல்லுகின்றபொழுது, A-யிலிருந்து செல்லும் அலைக்கும் C-யில் இருந்து செல்லும் அலைக்கும் (e + $f$) sin $\theta$ அளவு பாதை வேறுபாடு ஏற்படும். இந்தப் பாதை வேறுபாடு $\lambda$, $2\lambda$, $3\lambda$ ... $n\lambda$ என்று ஆகும் பொழுதெல்லாம் குறுக்கீட்டு விளைவினால், இந்த இரு அலைகளும் ஒன்றுக்கொன்று வலியூட்டிக்கொள்ளும். இதேபோல் இதே திசை (e + $f$) தொலைவு இடைவெளியுள்ள இடங்களிலிருந்து கிளம்பும் எந்த இரு அலைகளும் ஒன்றுக்கொன்று வலியூட்டிக் கொள்ளும். மாறாக, இந்த அலைகளின் பாதை வேறுபாடு (e+$f$) sin $\theta = \lambda/2, 3\lambda/2 \ldots\ldots +(2n-1)\ \lambda/2$ ஆகின்ற திசைகளில் செல்லும்பொழுது, குறுக்கீட்டு விளைவின் காரணமாக ஒன்றை ஒன்று எதிர்த்தழித்துக் கொள்கின்றன. ஆகையால் குறுக்கீட்டு விளைவுப் பெருமங்களும் சிறுமங்களும் திரையில் மாறி; மாறித் தோன்றும். ஆதலால்,

e sin $\theta = (2n-1)\lambda/2$ என்றுகின்ற திசைகளில் விளிம்பு விளைவுப் பெருமமும்

e sin $\theta = n\lambda\ (n \neq 0)$ என்றுகின்ற திசைகளில் விளிம்பு விளைவுச் சிறுமமும், (e + $f$) sin $\theta = {}_n\lambda$ என்றுகின்ற திசைகளில்

குறுக்கீட்டு விளைவுப் பெருமமும், $(e + f) \sin \theta = (2n - 1)\lambda/2$ என்றுகின்ற திசைகளில் குறுக்கீட்டு விளைவுச் சிறுமமும் தோன்றும்.

இரட்டைப் பிளவில் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவின் அமைப்புமுறையைப் படம் 11·17 விளக்குகிறது.



படம் 11·17

முழுக்கோடுகள் சம இடைவெளியில் ஏற்படும் குறுக்கீட்டு விளைவுப் பெருமங்களையும் சிறுமங்களையும் காட்டும். புள்ளிக்கோடு விளிம்பு விளைவினுல் ஏற்படும் பெரும சிறுமங்களைக் குறிக்கும். ஒற்றைப் பிளவினுல் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவு மையப் பெருமத்தில் இப்பொழுது சம தூரங்களில் அமைந்த குறுக்கீட்டு விளைவினுல் பெருமங்களும் சிறுமங்களும் தோன்றியுள்ளன. இதேபோல் இரண்டாம் நிலை விளிம்பு விளைவுப் பெருமங்களிலும் குறுக்கீட்டு விளைவு ஒளி-இருள் வரிகளாகத் தோன்றும். ஆகையால் இரட்டைப் பிளவில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கில் இரு ஒற்றைப் பிளவுகளால் ஏற்படும் விளிம்பு விளை வு பாங்கங்களுடன் சமஇடைவெளியில் அமைந்துள்ள குறுக்கீட்டு விளைவு ஒளி-இருள் பட்டைகளையும் கொண்டிருக்கும்.

11·19. இரட்டைப்பிளவின் பகுப்பாய்வு : (Analytical treatment for double slit): நாம், ஒற்றைப்பிளவின் வழியாக ஒளி அலைகள் செல்வதாலுல் திரையில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சியைக் கணக்கிடும் பொழுது, தொகுபயன் அலைவீச்சு

சமன்பாடு 11·26-ன் படி $A = A_0 \frac{\sin}{\alpha}$ என்றும்,

A-யிலிருந்து வரும் அலையுடன் அதன் கட்டம் (சமன்பாடு 11·27-ன் படி.)

$$\alpha = \frac{\pi}{\lambda} e \sin \theta$$

என்றும் பார்த்தோம். இதே கட்ட வேறுபாடு A-க்கும் B-க்கும் நடுவில் உள்ள ஒரு புள்ளியிலிருந்து கிளம்பும் அலைக்கும், A-யில்

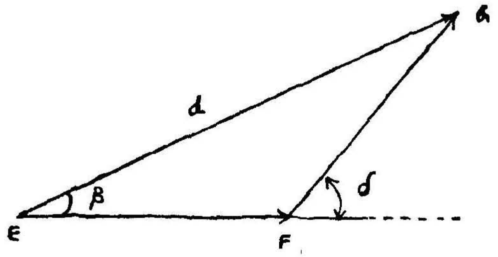
இருந்து கிளம்பும் அலைக்கும் ஏற்படும் கட்ட வேறுபாடாகும். ஆகையால், AB சிறுபிளவின் எல்லாப் பகுதியிலிருந்து திரையை அடையும் அலைகளை AB-யின் மையப் புள்ளியிலிருந்து $\frac{A \sin \alpha}{\alpha}$ அலைவீச்சையும் $\alpha$ தொடக்கக் கட்டத்தையும் கொண்ட ஓர் அலையாகக் கொள்ளலாம். இதேபோல் இரண்டாவது பிளவின் எல்லாப் பகுதிகளிலிருந்து கிளம்பும் அலைகளையும் அந்தப் பிளவின் மையப் புள்ளியிலிருந்து $\frac{A \sin \alpha}{\alpha}$ அலைவீச்சும், $\alpha$ தொடக்கக் கட்டமும் கொண்ட அலைக்குச் சமமாகக் கொள்ளலாம். ஆகையால் AB, CD என்ற இரு பிளவுகளிலிருந்து கிளம்பும் அலைகளை அவற்றின் மையப் புள்ளிகளிலிருந்து கிளம்பும் இரு ஓரியல் அலைகளுக்குச் சமமாகக் கொள்ளலாம். இந்த இரு ஓரியல் அலைகளும் திரையில் சந்திக்கும் பொழுது, அவற்றின் கட்டவேறுபாட்டிற்கு ஏற்பக் குறுக்கீட்டு விளைவுப் பாங்கத்தைத் தோற்றுவிக்கும். இந்த இரு அலைகளின் கட்ட வேறுபாடு அவற்றின் பாதை வேறுபாட்டைப் பொறுத்திருக்கும். உதாரணமாகப் படுதிசையிலிருந்து $\theta°$ சாய்ந்துசெல்லும் அலைகளுக்கிடையிலுள்ள பாதை வேறுபாடு,

$(e + f) \sin \theta =$ என்று ஆகும்.

$(e + f)$ இரு பிளவுகளின் மையப்புள்ளிகளுக்கிடையில் உள்ள தூரம். இதனால் ஏற்படும் கட்ட வேறுபாடு

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(e + f) \sin \theta$$

இந்த இரு அலைகளும் $\theta$ கோணத்தில் திரையிலேற்படுத்தும் இடப்பெயர்ச்சியை வெக்டார் வரைபட முறையில் காணலாம் (படம் 11·18).




11·18

$EF = FG = \frac{A \sin \alpha}{\alpha}$ என்பன, இரு அலைகளாலும் திரையில் $P_1$-ல் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி $\delta$, இரு அலைகளுக்குமிடையில் உள்ள

கட்டவேறுபாடு. இரு அலைகளினால் ஏற்படும் கூடுதலிடப்பெயர்ச்சி காண,

$$d^2 = EG^2 = EF^2 + FG^2 + 2\,EF\cdot FG.\cos\delta$$
$$= 4\,A^2 \frac{\sin^2 - \alpha}{\alpha^2} \cos^2 \frac{\delta}{2}$$

ஆகையால் $P_1$-ல் ஏற்படும் ஒளிச் செறிவு

$$I \propto d^2$$
$$\propto 4\,A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \cos^2 \frac{\delta}{2}$$
$$\propto 4\,A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \cos^2 \beta \quad (\because \delta/2 = \beta) \quad \ldots 11\cdot29$$

ஆகையால் $P_1$-ல் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவுச் சமன்பாடு 11·29-ன் மூலம் இரு உறுப்புகளைப் பொறுத்துள்ளது.

(1) $4\,A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2}$ இதனாலேற்படும்

ஒளிச்செறிவு அமைப்பு முறையை முன்பகுதியில் ஒற்றைப் பிளவின் விளிம்பு விளைவு அமைப்பு முறையாகப் பார்த்தோம். இரட்டைப் பிளவினால் ஒளிச் செறிவு நான்கு பங்காகி இருக்கிறது.

(2) $\cos^2 \beta$. இது இரு மையப்புள்ளிகளிலிருந்து கிளம்பிக் கூடும் அலைகளின் கட்டவேறுபாடு $\beta$-வுக்கு ஏற்ப அமைகின்ற குறுக்கீட்டு விளைவுப் பாங்கமைப்பாகும்.

ஆகையால் $I = 4\,A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \cos^2 \beta$ என்ற

சமன்பாட்டின்படி, ஒளிச்செறிவு சுழியாக இருக்க $A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2}$ சுழியாக வேண்டும். அல்லது $\cos^2 \beta$ சுழியாக வேண்டும்.

$$\frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} = 0 \text{ ஆக}$$

அல்லது $\alpha = n\pi$

ஆனால் $\alpha = \frac{\pi\, e \sin\theta}{\lambda}$ (சமன்பாடு 11·27-ன்படி)

$$= n\pi$$

அல்லது $e \sin\theta = n\lambda$

இங்கு, $n = 1, 2, 3, \ldots$ என்றாகும்.

மேலும், ஒளிச்செறிவு பெருமமாக $\alpha = \frac{3}{2}\pi, \frac{5}{2}\pi, \ldots (2n-1)\frac{\pi}{2}$ ஆகவேண்டும் என்று முன் பிரிவில் பார்த்தோம்.

இந்த உறுப்புகளால் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு விளிம்பு விளைவு அமைப்பாகும். மேலும் $\cos^2\beta$-வின் வேறுபாட்டால் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு மாற்றம் குறுக்கீட்டு விளைவு அமைப்பாகும்.

இந்த வகையில் ஒளிச்செறிவு பெருமமாக,

$$\cos^2\beta = 1 \text{ அல்லது } \beta = m\pi$$

$$\text{ஆனால் } \beta = \frac{\delta}{2} = \frac{\pi\,(e+f)\sin\theta}{\lambda} = m\pi$$

$(e+f)\sin\theta$ இரு பிளவுகளிலுள்ள, ஒத்த இரு புள்ளிகளிலிருந்து வரும் அலைகளின் பாதை வேறுபாடாகும். ஆகையால், இரு பிளவுகளிலுள்ள $(e+f)$ அளவு இடைவெளியிலுள்ள இரு புள்ளிகளில் இருந்து கிளம்பும் அலைகளின் பாதை வேறுபாடு அலைநீளத்தின் முழு எண் மடக்கையாக இருந்தால் ஒளிச்செறிவு பெருமமாக விருக்கும்.

ஒளிச்செறிவு சிறுமமாக $\cos^2\beta = 0$

$$\text{அல்லது } \beta = \frac{\pi}{2} \text{ அல்லது } (2m-1)\frac{\pi}{2}$$

அல்லது $(e+f)\sin\theta = (2m-1)\dfrac{\lambda}{2}$. என ஆகும்.

ஆகையால் இரு சிறுபிளவுகள் இணையாக அமைந்து அவற்றின் வழி ஒளி பரவிச்சென்றால், விளிம்பு விளைவு பெருமங்களின் ஒளிச்செறிவு அதிகரித்தும், இவற்றினூடே இரு பிளவு அலைகளினால் ஏற்படும் குறுக்கீட்டுவிளைவால் ஒளி-இருள் வரிகளும் காணப்படும். இரு பிளவுகளுக்குப் பதிலாக, பிளவுகளின் எண்ணிக்கையை அதிகமாக்கினால், விளிம்பு விளைவுப் பாங்கின் பெருமத்தின் ஒளிச்செறிவு பலமடங்கு அதிகரித்துக் காணப்படும். ஆனால், இந்த ஒவ்வொரு பெருமங்களிலும் குறுக்கீட்டு விளைவின் காரணமாகப் பல ஒளி-இருள் வரிகளாகப் பிரிபட்டிருக்கும்.

11·20. சமதள விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணி (Plane transmission grating): விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணியின் அமைப்பு பல நூறு சிறு பிளவுகளை ஒன்றன் பக்கத்தில் ஒன்றாக வைத்துக்கொண்டிருக்கும். இந்தச் சிறு பிளவுகள் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்று ஒளிபுகாப் பகுதியால் பிரிக்கப்பட்டிருக்கும். ஒளி அலை முகப்பு இந்தக் கீற்றணியின் பரப்பின்மீது விழுந்தால் ஒளி, பிளவின் வழியில் கடத்தப்படுதலும், ஒளிபுகாப் பகுதியில் தடைபடுதலும் ஏற்படும். இத்தகைய கீற்றணி ஒளி கடத்தும் கீற்றணி (transmission grating) எனப்படும். ஒரு சமதளக் கண்ணாடியில் கூர்முனை வைர ஊசியால் 'சம இடைவெளியில் ஒரே கனமுள்ள இணை கோடுகள் வரைந்து கீற்றணி தயாரிக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு வரையப்பட்ட இணைகோடுகளுக்கிடையிலுள்ள பகுதி ஒளி கடத்தும் பகுதியாகவும், கோட்டுப் பகுதிகள்

கடத்தாப் பகுதிகளாகவும் செயல்படும். இத்தகைய கீற்றணி ஒளி கடத்தும் கீற்றணி எனப்படும்.

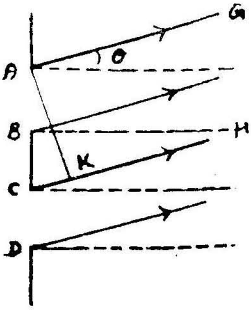
மாறாக, இத்தகைய கோடுகள் ஒரு சமதள அல்லது குழிதள எதிரொளிப்புத் தளத்தில் வரையப்பட்டு அத்தகைய தளத்தின்மீது ஒளிவிழுந்தால் கோடுகளுக்கிடையிலுள்ள பகுதிகளில் எதிரொளிப்பு ஏற்படும். இத்தகையபரப்புகள் எதிரொளிப்புக் கீற்றணி (reflection grating) எனப்படும்.

கோடுகளுக்கிடையிலுள்ள பகுதி, அலைநீள அளவிலிருந்தால், விளிம்பு விளைவால் ஏற்படும் மையப் பெருமம் ஒளி குறிப்பிடத்தகுந்த அளவு படுதிசையின் இரு பக்கங்களிலும் பரவியிருக்கும். நிறமாலையின் (spectrum) பார்வைப் பகுதிக்கு (visible region) பயன்படும் கீற்றணியின் பொதுவாக 1 செ.மீ.க்கு 6000 முதல் 10000 கோடுகள் வரை போடப்பட்டிருக்கும். செயல்முறையில் பயன்படுத்தப்படும் கீற்றணிகள் உண்மைக் கீற்றணியன், நேர்ப்படி (replica). உண்மைக் கீற்றணியின் மேல்பரப்பில் கொலோடின் கரைசலை மென்படலமாக ஊற்றி, மென்படலம் உறையச்செய்து கடினமாக்கப்படுகிறது. பின்னர் இந்தக் கொல்லோடின் மென்படலம் பிரித்தெடுக்கப்பட்டு இரு கண்ணாடித் தட்டுகளுக்கிடையில் பொருத்தப்படுகிறது. இது ஒளிகடத்தும் கீற்றணியாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இந்த முறையில் கோடுபோடப்பட்ட ஒரு கீற்றணியிலிருந்து பல நேர்ப்படிக் கீற்றணிகள் எடுக்கப்படுகின்றன.

ஒளிகடத்தும் கீற்றணியின் செயல்முறை (Action of transmission grating) : ஓர் ஒளி கடத்தும் கீற்றணி பல நூறு சம அகல சிறு பிளவுகளுக்கு ஒத்திருப்பதால் ஒவ்வொரு சிறு பிளவும் அதனதனுடைய விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தின் பெருமத்தையும் சிறுமத்தையும் ஏற்படுத்தும். இந்தப் பல சிறு பிளவுகளினால் ஏற்படும் பெருமங்கள் எல்லாம் ஒன்றின்மேலொன்றாக மேற்பொருந்தும். இதே போல் சிறுமங்களும் ஒன்றின்மேலொன்று பொருந்தும். எல்லாப் பிளவுகளின் பெருமங்களும், மேற்பொருந்துவதால், பெருமங்களின் ஒளிச்செறிவு சிறு பிளவுகளின் எண்ணிக்கையின் இருமடி வீதத்தில் அதிகரித்திருக்கும். பொதுவாகக் கீற்றணியில் பிளவுகளின் அகலம் ஏறத்தாழ ஓர் அலை நீளத்திலிருப்பதால், மையப் பெருமம் படுதிசையின் இருபுறமும் 90° கோணம்வரை பரவியிருக்கும். மேலும், இந்த மையப்பெருமம் பல பிளவுகளின்வழி பரவும் ஒளி குறுக்கிடுவதால் ஏற்படும் குறுக்கீட்டு விளைவால் பல பெருமங்களாகவும் சிறுமங்களாகவும் பிரிந்து விளங்கும். ஆகையால் இந்த அமைப்புமுறை முதன்மைப் பெருமங்களையும் இரண்டாம் நிலைப் பெருமங்களையும் சிறுமங்களையும் கொண்டிருக்கும். முதன்மைப் பெருமங்களின் ஒளிச்செறிவு பிளவுகளின் எண்ணிக்கையின் இருமடி

வீதத்திலிருக்கும். பிளவுகளின் எண்ணிக்கை அதிகமானல் இந்தப் பெருமங்களின் அகலம் குறைந்து காணப்படும். ஆனல் இரண்டாம் நிலைப் பெருமங்களின் ஒளிச்செறிவு குறைந்துகொண்டுவந்து முடிவில் பிளவுகளின் எண்ணிக்கை ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்கு மேலானல் இரண்டாம் நிலைப் பெருமங்கள் மறைந்துவிடும்.

11·21. ஒளிகடத்தும் கீற்றணியில் நேர்குத்துப் படு அலையால் நிறமாலை ஏற்படுதல் (Formation of spectra by transmission grating-Normal incidence): படம் 11·19-ல் AB, CD, EF முதலியன ஒரு கீற்றணியில் ஒளிபுகு பகுதிகளையும் BC, DE,.........முதலியன ஒளிபுகாப்பகுதிகளையும் குறிக்கின்றன. ஒளிபுகு பகுதிகளின் அகலம் e என்றும் ஒளிபுகாப் பகுதிகளின் அகலம் $f$ என்றும் கொண்டால் $(e+f)$ என்பது ஒரு கீற்றணி மூலத்தின் அகலம் (width grating element). கீற்றணியில் $(e+f)$ அளவாலோ $(e+f)$-ன் பலபடிக்கூடுதல் அளவாலோ பிரிக்கப்பட்டிருக்கும் புள்ளிகள் ஒத்த புள்ளிகளெனப் படும்.



படம் 11·19

ஒரு சமதள அலைமுகப்புக் கீற்றணியில் ஒளி நேர்குத்தாகப் படுவதாகக் கொள்வோம். கீற்றணியின் ஒளி புகு பகுதிகளிலிருந்து கிளம்பிக் கீற்றணிக்கு நேர்குத்தாகப் பரவும் இரண்டாம்நிலை அலைகள் எண்ணிலாத் தொலைவில் ஒருங்கிணையும். இவை யாவும் சமதூரம் கடந்திருப்பதால் ஒன்றுக்கொன்று வலியூட்டிக் கொண்டு முதன்மைப் பெருமத்தைத் தோற்றுவிக்கும். இது மையப்பெருமம் அல்லது சுழிவரிசை நிறமாலை எனப்படும். படு அலைமுகப்பு வெள்ளை நிற ஒளியாக இருந்தால் எல்லா நிற அலைகளும் மையப் பெருமத்தில் ஒருங்கிணைவதால் மையப் பெருமம் எல்லா நிற அலைகளாலும் ஏற்படும். A, C என்ற இரு அடுத்தடுத்த ஒத்த புள்ளிகளில் தோன்றி $\theta°$ கோணம் படுதிசைக்குச் சாய்வாக AG, CH என்ற திசைகளில் செல்லும் அலைக்குட்டிகளை நோக்குவோம். AK, CH-க்கு நேர்குத்தானல் AK-க்குப் பின் இந்த இரு அலைகளுக்கும் பாதை வேறுபாடு ஏற்படாது. ஆகையால் இந்த இரு அலைகளின் பாதை வேறுபாடு CK ஆகும்.

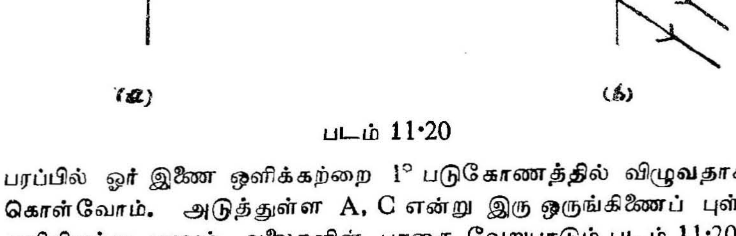
$$\text{அல்லது } CK = (e+f)\sin\theta$$

இந்தப் பாதை வேறுபாடு $(e+f)\sin\theta = n\lambda$ ... ... ... 11·30

என்று ஆனல் இந்த இரு அலைகளும் வலுவூட்டிக்கொள்ளும். இதேபோல் கீற்றணியின் எல்லா ஒளிபுகு பகுதிகளிலுள்ள ஒத்த

புள்ளிகளிலிருந்து கிளம்பும் எல்லா, $\lambda$ அலைநீளமுள்ள அலைகளும் படுதிசைக்கு $\theta^\circ$ கோணம் சாய்வு திசையில் வலுவூட்டிக்கொண்டு, ஒளிச்செறிவு பெருமாகவுள்ள $\lambda$ நீள அலையின் முதன்மைப் பெருமத்தை இந்தத் திசையில் தோற்றுவிக்கும். ஆனால் கீற்றணியின் A, C போன்ற ஒருங்கிணைப் புள்ளிகளிலிருந்து பரவும் அலைகளின் நீளம் $\lambda + d\lambda$ ஆக இருந்தால், இந்த அலைகள் $(\theta + d\theta)^\circ$ கோணம் சாய்வுத் திசையில் வலிவூட்டிக் கொள்வதாகக் கொண்டால் $(e+f)\sin(\theta + d\theta) = n(\lambda + d\lambda)$ என ஆகும். ஆகையால் $\lambda$.வின் நீளம்மாற மாற $\theta$ கோணமும் மாறுபடுகிறது. அதாவது வெவ்வேறு நீள அலைகளின் ஒளிச்செறிவின் முதன்மைப் பெருமங்கள் வெவ்வேறு திசைகளில் அமையும். இந்த முதன்மைப் பெருமங்கள், கீற்றணி மூலங்கள் மிகுந்திருப்பதால், மிகக்குறுகலாக இருக்கும். வெவ்வேறு நீள அலைகளும் வெவ்வேறு நிறங்களுக்குடையவாகையால், இந்த முதன்மைப் பெருமங்கள் வெவ்வேறு நிறங்களைக் காட்டும். வெவ்வேறு நிறங்களின் வரிகள் வரிசைப்படுத்தப்பட்டிருப்பதால், இந்த அமைப்பை நிறமாலை என்றும் கூறலாம். சமன்பாடு 11·30-ல் $n = 1$ என்றிருக்கும்பொழுது முதல் வரிசை நிறமாலையும், $n=2$, 3 என்றிருக்கும்பொழுது முறையே இரண்டாம் மூன்றும் வரிசை நிறமாலைகளும் தோன்றும். இந்த நிறமாலைகள் பொதுவாக வரம்பில்தான் ஏற்படும். ஆனால், விளிம்பு விளைவு ஏற்பட்ட ஒளிக்கற்றைகளை ஒரு குவிவில்லையின்மூலம் அதனுடைய குவி தளத்தில் நிறமாலை ஏற்படுமாறு செய்யலாம்.

11·22. கீற்றணியில் சாய்வு படு அலையால் நிறமாலை ஏற்படச் செயல் (Grating spectrum—obligue incidence) : ஒரு கீற்றணிப்




(அ) (ஆ)

படம் 11·20

பரப்பில் ஓர் இணை ஒளிக்கற்றை $i^\circ$ படுகோணத்தில் விழுவதாகக் கொள்வோம். அடுத்துள்ள A, C என்று இரு ஒருங்கிணைப் புள்ளிகளிலிருந்து பரவும் அலைகளின் பாதை வேறுபாடும் படம் 11·20-ல் காட்டியபடி FC+CE

ஆனல், $AB=e,\ BC=f$ ஆகும். ஆகையால்

$$FC=(e+f)\sin i$$

$$CE=(e+f)\sin\theta$$

ஆகையால் $FC+CE=(e+f)(\sin i+\sin\theta)$ ஆகும்.

படம் 11·20b பாதைவேறுபாடு

$$(e+f)(\sin i-\sin\theta)$$ ஆகும்.

இதில் $\lambda$ நீள அலையின் $n$ வரிசை முதன்மைப் பெருமத்திற்கு,

$$(e+f)(\sin\theta+\sin i)=n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}31$$

அல்லது

$$(e+f)\left[2.\sin\frac{\theta+i}{2}\cos\frac{\theta-i}{2}\right]=n\lambda$$

அல்லது $$\sin\left(\frac{\theta+i}{2}\right)=\frac{n\lambda}{2(e+f)\cos\frac{\theta-i}{2}}$$ ஆகும்.

இதில் ஒளி அலைகளின் விலகல் கோணம் படுதிசையி லிருந்து $(\theta+i)$ ஆகும். இந்த விலகல் கோணம் சிறுமமாக, $\sin\frac{\theta+i}{2}$ சிறுமமாக இருக்க வேண்டும். எனவே $\cos\frac{\theta-i}{2}$ பெரும மாக வேண்டும். அல்லது $\frac{\theta-i}{2}=0$ ஆகும். அல்லது $\theta=i$ ஆகும். அதாவது படுகோணமும், விளிம்பு விளைவு கோண மும் சமமாக இருக்கும்பொழுது விலகுகோணம் சிறுமமாக இருக் கும். இந்தச் சிறும விலகு கோணத்தை $D_m$ என்று கொண்டால்

$$D_m=(\theta+i)$$
$$=2\theta\ (\because\ \theta=i)$$

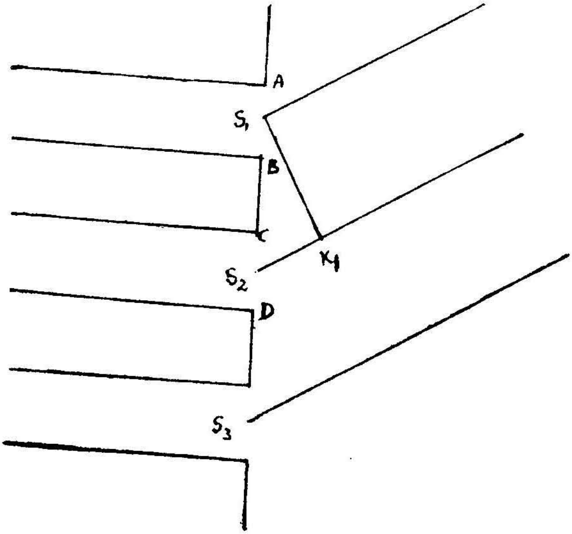
$i=\theta=\frac{D_m}{2}$ இந்த மதிப்பை சமன்பாடு 11·31-ல் பொருத்தினல்

$$(e+f)\,2\sin\frac{D_m}{2}=n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}32$$

11·32 சமன்பாடு $(\lambda)$ நீளஅலையின் '$n$' வரிசை பெருமத்தைக் கொடுக்கும்.

**11·23.** ஒளிகடத்தும் கீற்றணியின் பகுப்பாய்வு முறை (Transmission grating - Analytical treatment) : ஒரு சமதள அலைமுகப்பு,

ஒரு சமதள விளிம்பு விளைவுக்கீற்றணியில் விழுவதாகக்கொள்வோம். கீற்றணியை AB, CD, EF... போன்ற பல நூறு சிறு பிளவுகளைக் கொண்ட அமைப்பாகக் கொள்ளலாம். இந்தப் பிளவுகளின் அகலம் e என்றும் பிளவுகளுக்கிடையிலுள்ள ஒளிபுகாப் பகுதிகளின் அகலம் $f$ என்றும் கொண்டோம். AB-யிலிருந்து கிளம்பும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் $\theta°$ கோணம் சாய்வான திசையில் ஏற்படுத்தும் தொகுபயன் அலைவீச்சு $\frac{A \sin \alpha}{\alpha}$ என்றும், அது கட்டம் A-யிலிருந்து கிளம்பும் அலையிலிருந்து $\alpha = \frac{\pi e \sin \theta}{\lambda}$ அளவு வேறுபட்டிருக்கும் என்றும் பார்த்தோம் (பகுதி 11·17). ஆனால், இந்தக் கட்ட வேறுபாட்டை AB-யின் மையப்புள்ளி $S_1$-லிருந்து வரும் அலை கொண்டிருக்கும். ஆகையால், AB-யிலிருந்து வரும் எல்லா அலைகளும் $\theta$ கோணதிசையில் தோற்றுவிக்கும் பயனை $S_1$-லிருந்து $\frac{A \sin \alpha}{\alpha}$ அலைவீச்சையும் $\alpha$ தொடக்கக் கட்டத்தையும் கொண்டு கிளம்பும் ஓர் அலை ஏற்படுத்தும். ஆகையால் கணக்கீட்டு முறையைப் பொறுத்தவரை எந்த ஒரு சிறுபிளவையும் அதன் மையப்புள்ளியாலும், அவைகளிலிருந்து வரும் அலைகளை மையப்புள்ளியிலிருந்து $\frac{A \sin \alpha}{\alpha}$ வை அலைவீச்சாகவும் $\alpha$ வைத் தொடக்கக் கட்டமாகவும் கொண்ட அலையாலும் குறிப்பிடலாம்.




படம் 11·21

படம் 11·21-ல் ஒவ்வொரு பிளவும் $S_1$, $S_2$, $S_3$ என்ற அதனுடைய மையப்புள்ளிகளில் குறிப்பிடப்பட்டுள்ளது. $S_1$-லிருந்து கிளம்பும் அலைக்கும் $S_2$-விலிருந்து கிளம்பும் அலைக்குமுள்ள பாதை வேறுபாடு $CK_1$ ஆகும்.

$$CK_1 = (e+f) \sin\theta$$

ஆகையால், இரு அலைகளுக்குமுள்ள கட்டவேறுபாடு

$$2\beta = \frac{2\pi (e+f)\sin\theta}{\lambda} \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}33$$

இதேபோல் எந்தவொரு பிளவிலிருந்து கிளம்பும் அலையும் அதற்கு முன் பிளவிலிருந்து பரவும் அலையும் $2\beta$ கட்ட வேறுபாடு கொண்டிருக்கும். ஆகையால் கீற்றணிக்கு நேர்குத்திலிருந்து $\theta$ கோணம் சாய்வான திசையில், கீற்றணியின் பிளவுகளிலிருந்து செல்லும் அலைகளின் தொகுபயனை வெக்டார் கூடுதல் முறையில் காணலாம்.
தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி-ஐ (கணித முறைப்படி)

$$d = \frac{a \sin(N\beta)}{\sin\beta} \text{ என்று காட்டலாம்.} \quad \ldots \quad 11{\cdot}34$$

$a$ என்பது $\frac{A \sin\alpha}{\alpha}$ ஆகும்.

ஆகையால் $d = \frac{A\sin\alpha}{\alpha} \cdot \frac{\sin(N\beta)}{\sin\beta}$ ஆகும்.

$$\text{ஒளிச்செறிவு } I = d^2 = \frac{A^2 \sin^2\alpha}{\alpha^2} \frac{\sin^2(N\beta)}{\sin^2\beta} \quad \ldots \quad 11{\cdot}35$$

இதில் $\frac{A^2 \sin^2\alpha}{\alpha^2}$ விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தின் பெருமத்தையும் சிறுமத்தையும் குறிக்கும். எல்லாப் பிளவுகளுக்குமான விளிம்பு விளைவுப்பெருமங்களும் சிறுமங்களும் ஒரே வகையில் இருக்கும்.

$\left(\frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2\beta}\right)$ உறுப்பு

N பிளவுகளின் குறுக்கீட்டு விளைவுப்பாங்கத்தின் பெருமங்களையும் சிறுமங்களையும் குறிக்கும்.

(அ) முதன்மைப் பெருமங்கள் :

$\beta = n\pi$ ஆனால் '$n$' முழு எண்ணாக இருக்கும்பொழுது
$\sin N\beta = 0$ என்றும், $\sin\beta = 0$ என்றுமாகும்.

$$\lim_{x \to n\pi} \frac{\sin N\beta}{\sin\beta} = \lim_{x \to n\pi} \left(\frac{N\cos N\beta}{\cos\beta}\right)$$

$$= \frac{N\cos Nn\pi}{\cos\pi} = \pm N$$

ஆகையால் $\frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2\beta} = N^2$

ஆகையால் ஒளிச்செறிவு $N^2$ வீதத்திலிருக்கும். இவைகள் முதன்மைப் பெருமங்களாகும். இத்தகைய முதன்மைப் பெருமங்கள் தோன்றுகின்ற திசைகள்

$$\beta = \frac{\pi (e + f) \sin \theta}{\lambda} = n\pi$$

அல்லது $(e + f) \sin \theta = n \lambda$ ... ... ... (11·36)

என்றுகும்.

ஆகையால் முதன்மைப் பெருமங்கள் $n = 1, 2, 3...$ என்று ஆகும் பொழுது தோன்றும். அல்லது நிறமாலையின் $\lambda$ அலை நீளமுள்ள ஒளியின் முதல், இரண்டாம் வரிசைப் பெருமங்கள் $n^2$ 1, 2, 3 என்றுகும்பொழுது தோன்றும். சமன்பாடு 11·36, N-ஐக் கொண்டிருக்கவில்லை. ஆதலால் கீற்றணியில் ஒளிப் பெருமங்கள் ஏற்படுகின்ற திசை அது கொண்டிருக்கும் சிறுபிளவுகளைப் பொறுத்திருக்காது.

(ஆ) ஒளிச்சிறுமங்கள் (minima):

விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தில் ஒளிச்செறிவின் சிறுமங்கள் காண்பதற்கு

சமன்பாடு $I = A^2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha} \frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2 \beta}$ சுழியாகவேண்டும்.

அல்லது $\frac{\sin N\beta}{\sin \beta}$ -வில், $\sin \beta$ சுழியாகாமல்

$\sin N\beta$ மட்டும் சுழியாகவேண்டும். அதற்கு $N\beta = n\pi$ ஆக வேண்டும் (11·37).

$n$-ன் மதிப்பு 0, N, 2N, 3N,......என்ற மதிப்புகளில்லாத மற்ற முழு எண்களாகும். $n$-ன் 0, N, 2N, 3N...மதிப்புகளுக்கு

$$N\beta = 0, N\pi, 2N\pi, 3N\pi, \ldots\ldots \text{என்றுகும்.}$$

அல்லது $\beta = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \ldots\ldots$ என்றுகும்.

ஆகையால் $\sin \beta = 0$ என்று ஆகும். அல்லது $\beta$-வின் இந்த மதிப்பிற்கு

$$\frac{\sin N\beta}{\sin \beta} = N \text{ ஆகிறது.}$$

இது முன்பு கண்ட பெருமநிலைகளைக் குறிக்கும்.

சமன்பாடு 11·37-லிருந்து $\beta$-வின் மதிப்பைப் பாதை வேறுபாட்டுச் சமன்பாட்டில் பொருத்தினுல்,

$$\beta = \frac{\pi (e + f) \sin \theta}{\lambda} = \frac{n}{N} \pi$$

அல்லது $(e+f)\sin\theta = \frac{n}{N}\lambda$ என ஆகும்.

ஆனால் $n = 1, 2, 3, 4$.........என்றாகும்.

ஆகையால் $(e+f)\sin\theta = \frac{\lambda}{N}, \frac{2\lambda}{N}, \frac{3\lambda}{N}$

$\frac{(N-1)\lambda}{N}, \frac{(N+1)\lambda}{N}$......என்றாகும்பொழுது

ஒளிச் சிறுமங்கள் தோன்றும்.

(இ) இரண்டாம் நிலைப் பெருமங்கள் (Secondary maxima): சமன்பாடு 11·36-ன்படி

$(e+f)\sin\theta = 0, \lambda, 2\lambda$ ......... என்றாகும்பொழுது ஒளிச் செறிவு பெருமங்களும், சமன்பாடு 11·37-ன்படி

$$(e+f)\sin\theta = \frac{\lambda}{N}, \frac{2\lambda}{N}, \frac{3\lambda}{N}, \ldots\ldots (N-1)\lambda$$

$$\frac{(N+1)\lambda}{N}, \ldots \frac{(2N-1)\lambda}{N}, \frac{(2N+1)\lambda}{N}$$

என்றாகும்பொழுது சிறுமங்களும் தோன்றும் என்று ஆகிறது. இதில் $(e+f)\sin\theta = 0$ என்றாகும்பொழுது ஒரு பெருமமும் $(e+f)\sin\theta = \lambda$ என்றாகும்பொழுது அடுத்த முதன்மைப் பெருமமும் தோன்றுகின்றன. ஆனால் $(e+f)\sin\theta = 0$ விற்கும், $(e+f)\sin\theta = \lambda$ என்பதற்கும் இடையில்

$$(e+f)\sin\theta = \frac{\lambda}{N}, \frac{2\lambda}{N}, \ldots\ldots \frac{(N-1)\lambda}{N}$$ என்ற

$(N-1)$ சிறுமங்கள் தோன்றுகின்றன. இதிலிருந்து இந்த $(N-1)$ சிறுமங்களுக்கிடையில் $(N-2)$ பெருமங்கள் தோன்றவேண்டும் என்றாகிறது. இவைகள் இரண்டாம் நிலைப் பெருமங்களெனப்படும்.

**11·24. மேற்பொருந்தும் நிறமாலைகள் (Overlapping spectra):**

சில நேரங்களில் ஒரு குறிப்பிட்ட விளிம்பு விளைவு கோணத்தில் ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு பல அலை நீளங்களின் முழு எண் பெருக்கல் பலனுக்குச் சமமாகும். அதாவது,

$$(e+f)\sin\theta = n\lambda = (n-1)\lambda_1 = (n-2)\lambda_2$$

இந்த நிலையில் $\lambda$ நீள அலையின் $n$ வரிசை நிறவரியும் $\lambda$ நீள அலையின் $(n-1)$ வரிசை நிறவரியும் $\lambda_2$ நீள அலையின் $(n-2)$ வரிசை நிறப்பட்டையும் ஒன்றின் மேலொன்று பொருந்தும். இவை மேற்பொருந்து நிறமாலைகளெனப்படும். இவ்வாறு ஏற்படும்பொழுது

ஒளிச்செறிவு குறைந்து உள்ள நிறவரிகளைக் கண்டுகொள்வது கடினமாகிவிடும். இதனைப் படு ஒளியிலுள்ள தேவையற்ற நிற வரியை, வடிப்பானின் (filter) மூலம் நீக்கிவிடுவதால் தவிர்க்கலாம்.

11·25. தோன்றாநிற நிறமாலைகள் (Absent spectra) :

ஒரு கீற்றணியின் ஒளிபுகு பகுதியின் அகலம் e-யும் ஒளிபுகாப் பகுதியின் அகலம் $f$-ம் சமமானால் படம் 11·21-ல் AB = BC என ஆகும்.

$$AC \sin\theta = 2\lambda \text{ ஆனால்}$$

AB sin θ = λ ஆகும். இப்பொழுது AB சிறுபிளவின் ஒரு பாதியிலிருந்து கிளம்பும் அலைகளும் மறுபாதியிலிருந்து கிளம்பும் அலைகளும் $\frac{\lambda}{2}$ பாதை நீளம் வேறுபட்டிருப்பதால் இந்தத் திசையில் முதல் விளிம்பு விளைவுச் சிறுமம் தோன்றும். ஆகையால் கீற்றணியின் $(e+f)\sin\theta = 2\lambda$ என்றாகும்பொழுது ஏற்படும் இரண்டாம் வரிசை நிறமாலை ஏற்படாது. இதேபோல்

$$BC = 2\,AB \text{ என்றாகும்பொழுது}$$

$$AC \sin\theta = 3\lambda \text{ ஆனால்}$$

$$AB \sin\theta = \lambda \text{ ஆகும். ஆகையால்}$$

இந்தத் திசையில் முதல் விளிம்பு விளைவுச் சிறுமம் தோன்றும். ஆகையால் கீற்றணியில் 3-ஆம் வரிசை நிறமாலை தோன்றாது. பொதுவாக $\frac{AB}{BC} = \frac{m}{n}$ என்றானால் ($m, n$ இரண்டும் முழு எண்கள்) $(m+n)$ வரிசை $2(m+n)$ வரிசை முதலியன தோன்றா.

11·26 ஒரு கீற்றணியில் கிடைக்கும் நிறமாலை வரிசைகளின் எண்ணிக்கை (Possible number of orders) :

ஒரு கீற்றணியின் நிறமாலைப் பெருமங்களைக் குறிக்கும் சமன்பாட்டின்படி

$$(e+f)\sin\theta = n\lambda$$

எத்தனை வரிசைகள் வேண்டுமானாலும் தோன்றுவதுபோல் காணப்படுகிறது.

$$\sin\theta = \frac{1}{e+f}\,n\lambda$$

$(e+f)$ கீற்றணிமூலம் கீற்றணியில் ஒரு செ.மீ.-க்கு N கோடுகளிருந்தால் $N = \frac{1}{(e+f)}$ ஆகும்.

$$\sin\theta = Nn\lambda \text{ ஆகும்.}$$

ஆனால் sin θ வின் பெருமதிப்பு 1 ஆகும்.

உதாரணமாக $\lambda = 5893^{\circ}$ ஆ அலகு ஆகிறது என்றும்
$N = 14000/$அங்குலம் என்றும் கொண்டால்

$$n = \frac{1}{\frac{14000 \times 5893 \times 10^{-8}}{2 \cdot 54}}$$

3·079 ஆகிறது. ஆகையால், அதிகமாக இதில் மூன்று வரிசைகள் பார்க்கமுடியும். இதற்கடுத்த மேல்வரிசைகள் கிடைக்கமாட்டா.

11·27. கீற்றணி நிறமாலையையும் முப்பட்டக நிறமாலையையும் ஒப்பிட்டுப் பார்த்தல் (Comparison of grating spectrum and prism spectrum) :

1. கீற்றணியில் மையப்பெருமத்தின் இரு பக்கங்களிலும் பல வரிசை நிறமாலைகள் தோன்றும். ஆனால், முப்பட்டகத்தில் ஒரு நிறமாலை தான் தோன்றும்.

2. கீற்றணி நிறமாலை முப்பட்டக நிறமாலையைக்காட்டிலும் தூய்மையாக இருக்கும்.

3. முப்பட்டக நிறமாலையில் முழு ஒளியும், ஒரே நிறமாலையமைப்பில் பயன்படுகிறது. ஆனால் கீற்றணியில் பெரும்பகுதி ஒளி, மையப் பெருமத்திலும் சிறுபகுதி ஒளி, பல வரிசை நிறமாலைகளைத் தோற்றுவிப்பதிலும் பயன்படுவதால், கீற்றணி நிறமாலையைவிட முப்பட்டக நிறமாலை பொலிவுடனிருக்கும்.

4. கீற்றணி நிறமாலையில் அலைநீளம் அதிகரித்தால் ஒளி விலகல் அதிகரிக்கும். ஆனால் முப்பட்டகத்தில் அலைநீளம் அதிகரித்தால் திசைமாற்றக் கோணம் குறையும்.

5. கீற்றணி நிறமாலையில், கீற்றணியின் நேர்குத்துத் திரையில் சம அலைநீள மாற்றங்கள் சமகோண மாற்றங்களைத் தோற்றுவிக்கும். ஆனால் முப்பட்டக நிறமாலையில் சம அலைநீள மாற்றங்கள் சமகோணமாற்றங்களை ஏற்படுத்தா.

11·28. ஒளியியல் கருவிகளின் பகுதிறன் (Resolving power of optical instruments) : ஒரு தொலைநோக்கியின், அல்லது ஒரு நுண்ணோக்கியின் உருப் பெருக்கு திறன் அந்தக் கருவிகளில் பயன்படுத்தப்பட்டிருக்கும் வில்லைகளின் குவிய தூரங்களைப் பொறுத்திருக்கும். ஆகையால் சரியான குவியதூர வில்லைகளைப் பயன்படுத்துவதன்மூலம் அக் கருவிகள் தோற்றுவிக்கும் பிம்பங்களின் உருவங்களைப் பெருக்கிக் காட்டலாம். ஆனால் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்கு மேல் உருப்பெருக்கம் ஏற்படுவதால்மட்டும் அந்தப் பிம்பங்களின் தெளிவு அதிகமாகும் என்று கூறமுடியாது. ஆகையால், ஒளியியல்

கருவிகளின் உருப்பெருக்குதிறனுக்கும் ஓர் எல்லை உண்டு. வடிவியல் ஒளியியலின் விதிகள் அலைமுகப்பரப்பிற்கு முழுதும் பொருந்தும் என்று கூற முடியாது. விளிம்பு விளைவுப் பகுதியில் ஒரு புள்ளியின் பிம்பம், ஒரு புள்ளியாக இராமல் ஒரு விளிம்பு விளைவுப் பாங்கமாக அமைந்ததைப் பார்த்தோம். ஒரு புள்ளிப் பொருளிலிருந்து விரியும் ஒளிப்பாதையில் ஒரு சிறு வட்டத்துளை வைக்கப்பட்டால் திரையில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தில் மைய ஒளிப்பகுதியைச் சுற்றி இருள்-ஒளி வளையங்கள் காணப்படும்.

ஒளியியல் கருவிகளின் பொருளருகு வில்லையின் விட்டம் அதிகமாக இருந்தால், புள்ளி மூலப்பொருளின் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம் சிறிதாக அமையும். இரு புள்ளி மூலப் பொருள்கள் அருகருகில் இருந்தால், இவற்றால் ஒளியியல் கருவியின் பொருளருகு வில்லையினால் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கங்கள் ஒன்றின்மேல் ஒன்று பொருந்தும். தொலைநோக்கி, நுண்ணோக்கி போன்ற ஓர் ஒளியியல் கருவி அருகருகிலுள்ள இரு புள்ளிப் பொருள்களைப் பிரித்துக்காட்ட வேண்டுமானால், அந்த இரு புள்ளிப் பொருள்கள், பொருளருகு வில்லைப் பகுதியில் தோற்றுவிக்கும் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கங்கள் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்று பிரிந்திருக்கவேண்டும்.

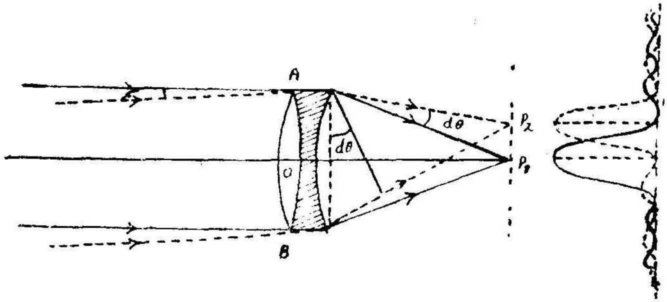
அருகருகிலுள்ள இரு புள்ளிப்பொருள்களின் பிம்பங்களைத் தனித்தனியாகப் பகுத்துக்காட்டும் திறன், ஓர் ஒளியியல் கருவியின் பகுதிறன் (resolving power) எனப்படும். பொதுவாக ஓர் ஒளியியல் கருவியின் பகுதிறன் எண்ணளவில் கூறப்படும்.

முப்பட்டகம், கீற்றணி நிறமாலை மானிகளில், அருகருகிலுள்ள இரு நிறமாலை வரிகளைத் தனித்தனி வரிகளாகப் பிரித்துக்காட்டும் திறன், முப்பட்டகத்தின் அல்லது கீற்றணியின் பகுதிறன் எனப்படும்.

ராலேயின் பிரிதிறன் நிபந்தனை (Rayleigh's criterion for the limit of resolution) : அருகருகிலுள்ள இரு பிம்பங்கள் தனித்தனியாகப் பிரிக்கப்பட்டிருக்கவேண்டுமானால் ஒரு பிம்பத்தின் விளிம்பு விளைவுப்பாங்கத்தின் மையப்பெருமம், மற்றொரு பிம்பத்தின் விளிம்பு விளைவுப்பாங்கத்தின் முதல், இரண்டாம் நிலைச் சிறுமத்துடன் பொருந்தவேண்டும்.'

ஒளியியல் கருவிகளின் பிரிதிறனுக்கான மேல்கண்ட நிபந்தனையை இராலே என்பவர் எடுத்துக்காட்டினார். எனவே, இது பிரிதிறனுக்கான ராலேயின் நிபந்தனை எனப்படும். இந்த நிபந்தனையைப் பயன்படுத்தித் தொலைநோக்கி, முப்பட்டகம், மற்றும் கீற்றணி முதலியவற்றின் பிரிதிறன்களைக் காணலாம்.

**11·29. தொலைநோக்கியின் பகுதிறன் : (Resolving power of telescope) :**




படம் 11·22

தொலைநோக்கியின் பொருளருகு வில்லையின் விட்டம் '$a$' என்று கொள்வோம். அருகருகிலுள்ள இரு தொலைவுப் பொருள்களிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் பார்வைப்புலனில் $P_1$, $P_2$ என்ற புள்ளிகளில் பிம்பங்களைத் தோற்றுவிக்கும் (படம் 22). ஒவ்வொரு பிம்பமும், ஃப்ரான்ஹோபர் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தினைக் கொண்டிருக்கும். இவை இரு பிம்பங்களின் மையப்பெருமங்களைக் குறிப்பதாகக் கொள் வோம். இராலேயின் நிபந்தனையின்படி இந்த இரு பிம்பங்களும் தனித்தனியாகப் பிரிக்கப்பட்டிருக்கவேண்டுமானால் ஒரு பிம்பத்தின் மையப் பெருமம் மற்றொரு பிம்பத்தின் முதல் சிறுமத்துடன் பொருந்த வேண்டும். A, B பகுதிகளிலிருந்து தோன்றி $P_1$-ஐ நோக்கிச் செல்லும் அலைகளின் பாதை நீளங்கள் ஒரே அளவாக இருப்பதால் அவற்றின் பாதை வேறுபாடு சுழியாகும். ஆகையால் இரு அலை களும் $P_1$-ல் ஒன்றுடன் ஒன்று வலிவூட்டிக்கொள்ளும். இது போலவே AO பகுதியிலும் BO பகுதியிலும் உள்ள ஒத்த புள்ளிகளி லிருந்து $P_1$-ஐ அடையும் இரண்டாம் நிலை அலைகளும் ஒன்றுட னொன்று வலுவூட்டிக்கொள்ளும். ஆகையால், P முதல் பிம்பத்தின் மையப் பெருமத்தைக் குறிக்கும். A-யிலிருந்தும் B-யிலிருந்தும் $P_2$-வை நோக்கிச் செல்லும் இரண்டாம் நிலை அலைகளின் பாதை வேறுபாடு BC ஆகும். கோணம் $P_2AP_1 = \theta$ என்று கொண்டால்,

$$BC = AB \sin d\theta \quad \text{என்றும்}$$

$d\theta$ சிறியதாகையால்,

பாதைவேறுபாடு $BC = a.d\theta$ என்றுமாகும். இந்தப் பாதை வேறுபாடு $\lambda$-விற்குச் சமமானால் $P_2$, முதல் பிம்பத்தின் முதல் சிறும மாக அமையும். இதனைக் கீழ்க்கண்டவாறு விளக்கலாம்.

AB பகுதியை AO, OB என்ற இரு சம பகுதிகளாகப் பிரித்தால் AO பகுதியின் எந்தவொரு புள்ளியிலிருந்து கிளம்பி $P_2$-ஐ அடையும் அலையும் OB பகுதியின் அதற்கிணையான புள்ளியிலிருந்து $P_2$-ஐ அடையும் அலையுடன் $\frac{\lambda}{2}$ பாதைவேறுபாடு கொண்டிருக்கும். ஆகையால் $P_2$-ல் சந்திக்கும் எல்லா இரண்டாம் நிலை அலைகளும் ஒன்றை ஒன்று அழித்துக்கொண்டு $P_2$ முதல் பிம்பத்தின் முதல் சிறுமமாக அமையும். ஆகையால்,

$d\theta = \frac{\lambda}{a}$ என்றாகும்பொழுது முதல் பிம்பத்தின் முதல் சிறுமம் தோன்றுமென்றாகிறது. ஆனால், இந்தச் சமன்பாடு முழுதும் நீள் சதுர இடையிடத்திற்குத்தான் பொருந்தும். வட்ட இடையிடத்தினால் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கிற்கு, ஆரே என்பவர், (Airy)

$$d\theta = \frac{1{\cdot}22\,\lambda}{a} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 11{\cdot}38$$

என்றிருக்க வேண்டுமென்று காட்டியுள்ளார். $\frac{1}{d\theta}$, தொலைநோக்கியின் பிரிதிறனை அளக்கும் அளவாகக் கொள்ளப்படும் ஆகையால், தொலைநோக்கியின்,

$$\text{பிரிதிறன்} = \frac{1}{d\theta} = \frac{a}{1{\cdot}22\lambda} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 11{\cdot}39$$

படத்தில் $P_1 P_2 = r$ என்றும் AB வில்லையின் குவிய தூரம் $f$ என்றும் கொண்டால்,

$f\,d\theta = r$ என்றும்

அல்லது $d\theta = \frac{r}{f}$ என்றுமாகும்.

ஆனால் சமன்பாடுகள் 11·38, 11·39-களிலிருந்து

$$d\theta = \frac{1{\cdot}22\,\lambda}{a}$$

$$= \frac{r}{f} \text{ என்றாகும்.}$$

அல்லது $r = \frac{1{\cdot}22\,\lambda f}{a}$ என்றாகும் ... ... .. ... 11·40

இதில் $r$, $P_1$ பிம்பத்தின் மையப் பெருமத்தின் ஆரமாகும். மையப் பெருமத்தின் ஆரம் முதல் சிறுமத்தின் ஆரத்திற்குச் சமம். மைய வட்ட ஒளிப் பகுதி ஆரேயின் வட்டு (Airy's disc) என்று கூறப்படும்.

சமன்பாடு (11·40)லிருந்து, ஒரு தொலைநோக்கியின் பொருளருகு வில்லையின் குவியதூரமும் ஒளியின் அலைநீளமும் குறைவாகவும், வில்லையின் இடையிடம் கூடுதலாகவும் இருந்தால் மையப் பெருமத்தின் (ஆரே வட்டின்) ஆரம் குறைவாகும். விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தின் வளையங்கள் தெளிவாகும். அல்லது அருகருகிலுள்ள பொருள்கள், பிரித்துக்காட்டப்படவேண்டிய அளவிற்கு ஏற்படுத்தும் கோணம் குறைவாக அமையும். ஆகையால் தொலைநோக்கியின் மிகுதிறன் அதிகரிக்கும்.

## 11·30. கீற்றணியின் பகுதிறன் (Resolving power of grating):

ஒரு நிறமாலையில் அருகருகில் உள்ள இரு நிறவரிகளின் அலை நீளங்கள் முறையே மற்றும் $\lambda$, மற்றும் $\lambda + d\lambda$ என்று கொள்வோம். இந்த இரு நிற வரிகளையும் இரு தனித்தனியான நிறவரியாகப் பிரித்துக்காட்டும் கீற்றணியின் திறமை கீற்றணியின் பகுதிறன் எனப்படும். கீற்றணியால் தனித்தனியாகப் பிரித்துக்காட்டக்கூடிய ஒன்றுக்கொன்று மிக அருகிலுள்ள இரு வரிகளின் ஒன்றின் அலைநீளத்திற்கும்,($\lambda$), அவ் விரு அலைநீளங்களின் வேறுபாட்டிற்கும் ($d\lambda$) உள்ள வீதம் கீற்றணியின் பகுதிறனின் அளவாகக் கொள்ளப்படும். ஆகையால் ஒரு கீற்றணியின் பகுதிறன் $\frac{\lambda}{d\lambda}$ ஆகும். N கூறுகளைக்கொண்ட ஒரு கீற்றணியைக் கொண்டு நிறமாலை ஏற்படுத்தினல், எந்த வரிசையிலுள்ள நிறமாலை வரியும் அந்த நிற அலையின் முதன்மைப் பெருமமாகும். ஓர் அலைநீள வரியின் அடுத்தடுத்த வரிசையிலுள்ள முதன்மைப் பெருமங்களுக்கிடையில் (N-1) இரண்டாம் நிலைச் சிறுமங்களும் (N-2) இரண்டாம் நிலைப் பெருமங்களும் தோன்றும் என்று கண்டோம். இராலேயின் கொள்கைப்படி $\lambda$, $\lambda + d\lambda$ அலைநீளங்களைக் கொண்ட வரிகளை ஒரு கீற்றணி பிரித்துக் காட்ட வேண்டுமானல் ஓர் அலைநீள $\lambda$ வரியின் முதன்மைப் பெருமம் மற்றொரு அலைநீள ($\lambda + d\lambda$) வரியின் முதல் இரண்டாம் நிலைச் சிறுமத்துடன் இணையவேண்டும்.

$\lambda$ அலைநீள வரியின் $n$ வரிசை முதன்மைப் பெருமம் கீற்றணியின் நேர்குத்துக் கோட்டிலிருந்து $\theta'$ கோணம் சாய்வாக அமைந்திருப்பதாகக் கொண்டால் $(e+f)\sin\theta = n\lambda$ ஆகும். இதற்கு அடுத்த இரண்டாம் நிலைச் சிறுமம் $(\theta + d\theta)$ கோணத்தில் அமைய

$$(e+f)\sin(\theta + d\theta) = \left(\frac{Nn+1}{N}\right)\lambda$$

ஆக இருக்கவேண்டும் என்று கண்டோம். அல்லது,

$$(e+f)\sin(\theta + d\theta) = n\lambda + \frac{\lambda}{N} \quad \ldots \text{ என்றுகும். } 11{\cdot}41$$

த திசையில் $(\lambda+d\lambda)$ வரியின் $n$ வரிசை முதன்மைப் பெருமம் அமைய

$$(e+f)\sin(\theta+d\theta)=n(\lambda+d\lambda) \quad \dots \quad \dots \quad 11{\cdot}42$$

சமன்பாடு 11·41-ஐயும் 11·42-யையும் ஒப்பிட்டால்

$$n\lambda+\frac{\lambda}{N}=n\lambda+n\,d\lambda \text{ என்றுகும்.}$$

அல்லது $\frac{\lambda}{d\lambda}=Nn$ ஆகும்.

கீற்றணியின் பகுதிறன் $\frac{\lambda}{d\lambda}$ ஆகும். ஆகையால், கீற்றணியின்

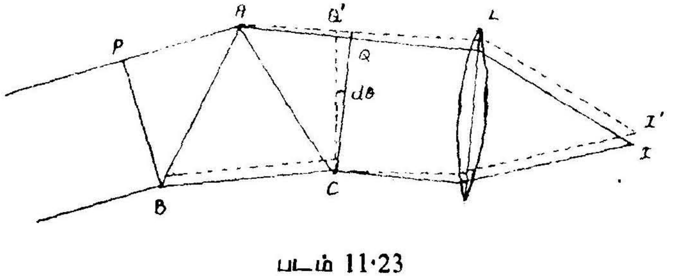
பகுதிறன் $\frac{\lambda}{d\lambda}=Nn$ என்றுகும் ... ... ... ... ... ... 11·43

ஆகையால், ஒரு கீற்றணியின் பகுதிறனை நிறமாலை வரிசையை அதிகரிப்பதாலும் கீற்றணியின் மொத்தக் கூறுகளை அதிகரிப்ப தாலும் அதிகரிக்கச் செய்யலாம்.

11.31. முப்பட்டக நிறமாலை மானியின் பகுதிறன் (Resolving power of prism spectrometer) : ஒரு முப்பட்டக நிறமாலையில் அருகருகிலுள்ள இரு நிறங்களின் அலைநீளங்கள் முறையே $\lambda$ என்றும் $\lambda+d\lambda$ என்றும் கொண்டால், ஓர் அலைநீளத்திற்கும் $\lambda$, அடுத்தடுத்த இரு அலைநீள வேறுபாட்டிற்கு $(d\lambda)$ முள்ள வீதம் அந்த முப்பட்டக நிறமாலைமானியின் பகுதிறனாகக் கணக்கிடப்படும்.

$$\text{பகுதிறன்}=\frac{\lambda}{d\lambda} \text{ ஆகும்.} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 11{\cdot}44$$

படம் 11·23-ல் ABC ஒரு முப்பட்டகத்தின் குறுக்கு வெட்டுப்பகுதியைக் குறிக்கும். PB முப்பட்டகத்தில் AB பக்கத்தில் விழும் சமதள அலைமுகப்பாகும்.




படம் 11·23

இதன் அலைநீளம் $\lambda$ என்று கொள்வோம். இந்த அலைமுகப்பு முப்பட்டகத்தை அது சிறும திசைமாற்றக் கோண நிலையில் சந்திப்ப தாகவும் கொள்வோம். இந்த அலைமுகப்பு CQ என்ற விலகல் அலை

முகப்பைத் தோற்றுவிக்கும். இந்த அலைமுகப்பு தொலைநோக்கி யின் பொருளருகு வில்லை L-ன் குவியப் புலனில் I என்ற நிறவரி யைத் தோற்றுவிக்கும். மேலும் முப்பட்டகத்தின் முழுப் பகுதி வழியாகவும் ஒளி செல்வதாகவும் கொள்வோம். முப்பட்டகப் பொருளின் ஒளிவிலகெண் $\lambda$ அலைநீளத்திற்கு $\mu$ என்று கொண் டால்,

$$PA + AQ = \mu \cdot BC \text{ ஆகும்.}$$

$$BC = t \text{ ஆனால்}$$

$$PA + AQ = \mu\ t \text{ ஆகும்} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}45$$

படு அலைமுகப்பு $(\lambda + d\,\lambda)$ அலைநீள ஒளியைக் கொண்டிருந்தால் அது CQ′ என்ற விலகல் அலைமுகப்பைத் தோற்றுவித்து, தொலை நோக்கியின் பொருளருகு வில்லையின் குவியப்புலத்தில் I′ என்ற நிறவரியைத் தோற்றுவிக்கும். இந்த இரு ஒளிவிலகல் அலை முகப் புக்களுக்கிடையிலுள்ள கோணம் $(d\,\theta)$ என்றும், பொருளருகு வில்லை யின் விட்டம் $a$ என்றும் கொண்டால் தொலைநோக்கி இந்த இரு நிற வரிகளையும் பிரித்துக்காட்ட வேண்டுமானால்,

$(d\,\theta) = \dfrac{\lambda}{a}$ என்று தொலைநோக்கிப் பகுதிறன் பகுதியில்

கண்டோம். ... ... ... ... 11.46

$(\lambda = d\,\lambda)$ அலைநீள அலைமுகப்பு

$$PA + AQ' = (\mu - \delta\,\mu)\,BC = (\mu - \delta\,\mu)t \ \ldots \ 11{\cdot}47$$

சமன்பாடு = 11·45, 11·46 இவைகளை இணைத்தால்,

$$AQ - AQ' = \delta\,\mu \cdot t$$

அல்லது $QQ' = t \,.\, \delta\,\mu$ ... ... ... 11·48

ஆனால் $QQ' = a \,.\, d\,\theta$ ... ... ... 11·49

இவைகளிலிருந்து,

$$d\,\theta = \frac{t}{a}\,\delta\,\mu \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 11{\cdot}50$$

சமன்பாடு 11·46-லிருந்தும் 11·50-லிருந்தும்

$$d\,\theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{t}{a}\,\delta\,\mu$$

ஆகையால் $\lambda = t\,\delta\,\mu$

அல்லது $\dfrac{\lambda}{d\lambda} = t\dfrac{\delta\,\mu}{d\lambda} = t\,\dfrac{d\,\mu}{d\,\lambda}$ என்றுகும். ... 11·51

ஒரு பொருளின் ஒளிவிலகெண்ணையும், ஒளியின் அலைநீளத்தையும் காச்சி (Cauchy's formula) சமன்பாட்டால் கீழ்க்கண்டவாறு குறிக்கலாம்.

$$\mu = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

இதில் A, B என்பன காச்சியின் மாறிலி எனப்படும். இந்தச் சமன்பாட்டைப் பகுத்தால்,

$$\frac{d\mu}{d\lambda} = -2\frac{B}{\lambda^3} \text{ என்றாகும்} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 11{\cdot}52$$

அலைநீளம் அதிகமானால், விலகெண் குறையுமென்பதை எதிர்க்குறி காட்டுகிறது.

$\frac{d\mu}{d\lambda}$-வின் மதிப்பை 11·52-லிருந்து 11·51-ல் பொருத்தினால் ஒரு முப்பட்டக நிறமாலைமானியின் பகுதிறன் $\frac{\lambda}{d\lambda} = \frac{2Bt}{\lambda^3}$ என்றாகும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட ஒளி அலை நீளத்திற்கும், ஒரு குறிப்பிட்ட முப்பட்டகத்திற்கும் பகுதிறன், பட்டகத்தின் அடிப்பாக நீளத்திற்கு ஏற்பவுமிருக்கும் என்கிறது.

### மாதிரிக் கணக்குகள்

1. 1 மி.மீ. விட்டம்கொண்ட ஒரு மென்கம்பி ஒற்றை நிற ஒளியால் ஒளியூட்டப்பட்ட ஒரு சிறுபிளவிற்கு இணையாக, சிறு பிளவிலிருந்து 1 மீட்டர் தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. மென் கம்பியிலிருந்து 2 மீட்டர் தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ள திரையில் எத்தனை குறுக்கீட்டு விளைவு வரிகள் காணப்படும்? (ஒளியின் அலை நீளம் 6000 ஆ.அ.)

$$\text{வரி அகலம்} = B = \frac{D\lambda}{d}$$

$$D = 200 \text{ செ.மீ.}$$

$$\lambda = 6000 \times 10^{-8} \text{ செ.மீ.}$$

$$d = 0{\cdot}1 \text{ செ.மீ.}$$

$$\text{வரி அகலம்} = \frac{200 \times 6000 \times 10^{-8}}{0{\cdot}1}$$

$$= 0{\cdot}12 \text{ செ.மீ.}$$

திரையில் நிழலின் அகலம்

$$= \frac{0{\cdot}1}{100} \times (100 + 200)$$

$$0{\cdot}3 \text{ செ.மீ.}$$

மையத்தில் ஓர் ஒளிவரி தோன்றும். வரி அகலம் 0·12 செ.மீ. ஆதலால், மையவரிக்கு இரு பக்கத்திலும் இரு வரிகள் தோன்றும். ஆகையால், திரையில் தோன்றும் குறுக்கீட்டு விளைவு வரிகள். ஆகும்.

2. 2 மீட்டர் வளைவு ஆரம்கொண்ட ஒரு குவிவில்லையைக் கொண்டு ஏற்படும் நியூட்டன் வளையங்களின் அமைப்பை ஒத்திருக்கும் நிலையில், ஒரு மண்டிலத்தட்டு தோற்றுவிக்கப்பட்டுள்ளது. அதன் முதன்மைக் குவிய தூரத்தைக் காண்.

நியூட்டன் வளையங்களின் ஆரங்கள், $r_n$

$$\frac{r_n^2}{R} = n\lambda$$

மண்டிலத்தட்டில் மண்டிலங்களின் ஆரங்கள், $r_n$

$$\frac{r_n^2}{f} = n\lambda$$

இரு சமன்பாடுகளையும் ஒப்பிட்டால்,

மண்டிலத்தட்டின் முதன்மைக் குவிய தூரம் $f = R = 2$ மீட்டர் ஆகும்.

3. 5893 ஆ.அ. அலைநீளம்கொண்ட சமதள அலை ·5 மி.மீ. அகலம்கொண்ட ஒரு சிறு பிளவில் நேர்குத்தாக விழுகிறது. 50 செ.மீ. குவிய தூரமுள்ள ஒரு வில்லை, பிளவிற்குப் பின்னுல் வைக்கப்பட்டுள்ளது. வில்லையின் குவியப்புலனில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கில் மையப் பெருமத்திற்கும், முதல் சிறுமத்திற்கும் உள்ள இடைவெளியைக் கணக்கிடு.

சிறு பிளவில் முதல் சிறுமம் ஏற்பட,

சமன்பாடு $e \sin\theta = n\lambda$-ல் $n = 1$ ஆக வேண்டும்.

$$e = \cdot05 \text{ செ.மீ.}$$

$$\therefore \lambda = 5893 \times 10^{-8} \text{ செ.மீ.}$$

$$\sin\theta \doteq \frac{5893 \times 10^{-8}}{\cdot05}$$

$\theta$ குறைவாக இருப்பதால்

$$\sin\theta = \theta \quad \frac{5893 \times 10^{-8}}{\cdot05}$$

திரையில் மையப் பெருமத்திற்கும் முதல் சிறுமத்திற்கும் உள்ள இடைவெளி

$$= 50 \times \theta$$

$$= \frac{5893 \times 10^{-8} \times 50}{\cdot05}$$

$$= 0\cdot5893 \text{ செ.மீ.}$$

4. ஒரு சமதள ஒளிகடத்தும் கீற்றணியில் 1 செ.மீ.க்கு 8000 கோடுகள் உள்ளன. 5461 ஆ.அ அலைநீளம் கொண்ட ஒளி

கீற்றணியில் நேர்குத்தாக விழுந்தால் எத்தனை வரிசை வரிகள் காணப்படும்?

$$N_n \lambda = \sin \theta$$

$\sin \theta$-வின் அதிக மதிப்பு = 1

$$n = \frac{1}{8000 \times 5461 \times 10^{-8}}$$
$$= 2.$$

5. ஒரு சமதள ஒளிகடத்தும் கீற்றணி முதல் வரிசையில் அலைநீள ஒளிக்கு 20° சிறுமத் திசைமாற்றுக் கோணமும் நீல ஒளிக்கு 15°56′ சிறுமத்திசை மாற்றுக்கோணமும் தோற்றுவிக்கிறது. நீல நிற ஒளியின் அலைநீளத்தைக் கணக்கிடுக.

$$2 \sin \frac{\theta}{2} = N n \lambda$$

$$N = \frac{2 \sin \theta/_2}{\lambda}$$

$$= \frac{2 \sin 10^\circ}{5461 \times 10^{-8}}$$

நீலநிற ஒளியின் அலைநீளம்

$$\lambda B = \frac{2 \sin \left(\frac{15^\circ 56'}{2}\right)}{2 \sin (10^\circ)} 5461 \times 10^{-8}$$

= 4360 ஆ. அலகு.

பயிற்சி

1. விளம்பு விளைவு என்றால் என்ன?

ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவிற்கும், விளிம்பு விளைவுக்கும் உள்ள வேறுபாட்டை விளக்கு.

ஃப்ரநெல் விளிம்பு விளைவு, ஃப்ரான்ஹோபர் விளிம்பு விளை விளைவிலிருந்து எவ்வாறு வேறுபடுகிறது?

2. அலைக் கொள்கையின்மூலம் ஒளியின் நேர்கோட்டுச் செலவை விளக்குக.

3. அலைமுகப்பு உருளை வடிவிலிருந்தால், அலைமுகப்பை அரை அலைவுநேரக் கூறுகளாக எவ்வாறு பிரிக்கலாம்?

ஒரு நேர் விளிம்பினால் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவை விவரி. இந்த முறையில் எவ்வாறு ஒற்றை நிற ஒளியின் அலை நீளத்தை அளக்கமுடியும்?

4. மண்டிலத்தட்டு என்றால் என்ன ?

மண்டிலத்தட்டின் குவிய தூரத்திற்கு ஒரு சமன்பாடு அமைத்துக் காட்டு.

ஒரு மண்டிலத்தட்டின் செயலையும், ஒரு குவிவில்லையின் செயலையும் ஒப்பிட்டுக் கூறு.

5. ஒரு சமதள ஒளி கடத்தும் கீற்றணியைக்கொண்டு எவ்வாறு ஒளியின் அலை நீளங்களை அளக்க முடியும்? இந்தச் சோதனையில் பயன்படுத்தப்படுத்தப்படும் சமன்பாட்டை அமைத்துக் காட்டு.

6. 2 செ.மீ. அகலம் கொண்ட ஓர் ஒளிகடத்தும் கீற்றணியில் $6 \cdot 56 \times 10^{-5}$ செ.மீ. அலை நீளங்கொண்ட ஓர் ஒற்றை நிற ஒளி நேர்குத்தாக விழுகிறது. முதல்நிலை நிறமாலை $18^{\circ}\ 14'$ கோணத்தில் தோற்றுவிக்கப்பட்டால், கீற்றணியிலுள்ள கோடுகளைக் கணக்கிடு.

7. ஒளியியல் கருவியின் பகுதிறன் என்றால் என்ன ?

பகுதிறன், உருப்பெருக்குத் திறனிலிருந்து எவ்வாறு வேறுபடுகிறது?

ஒரு தொலைநோக்கியின் பகுதிறன் அதன் பொருள் வில்லையின் விட்டத்திற்கு ஏற்ப அமையுமென்று காட்டு.

8. ஒரு கீற்றணியின் பிரிதிறனுக்கும், பகுதிறனுக்குமுள்ள வேறுபாடுகளெவை ?

ஒரு கீற்றணியின் பகுதிறனுக்கு ஒரு சமன்பாடு காண்.

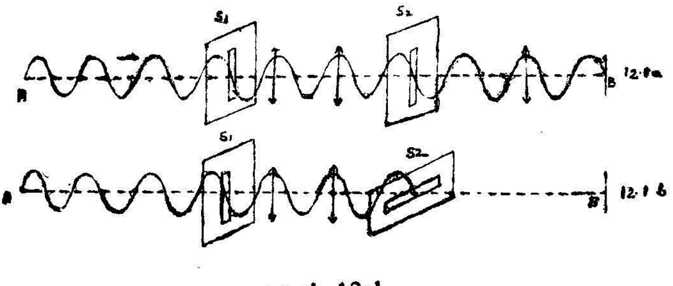
9. ஒரு சோடியம் விளக்கின் ஒளியின் அலைநீளம் 5893 ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு. இது 6 ஆங்கஸ்ட்ராம் அலகு இடைவெளியில் இரட்டை வரியாக உள்ளது. இந்த இரு வரிகளைப் பிரித்துக்காட்ட ஒரு கீற்றணியில் குறைந்தது எவ்வளவு கோடுகள் இருக்க வேண்டும்?

# 12. தளவிளைவு

## (POLARISATION)

12·1. முன் இரு பகுதிகளிலும் பார்த்த குறுக்கீட்டு விளைவும், விளிம்பு விளைவும் ஒளி அலையியக்கத்தின்மூலம் பரவுகின்றன என்பதைத் தெளிவாக விளக்கின. ஆனால் இந்த இரு விளைவுகளினின்றும், ஒளி அலையியக்கம் குறுக்கலையியக்கமா அல்லது நெட்டலையியக்கமா என்பதைப்பற்றி அறிய இயலவில்லை. ஆனால் ஒளியியக்கத்திலேற்படும் தளவிளைவு ஒளி அலைகள் குறுக்கலைகள் என்பதைத் தெளிவாக விளக்குகிறது.

12·2. குறுக்கலைகளின் தளவிளைவு: $S_1$, $S_2$ என்ற இணையான இரு சிறுபிளவுகளின் ஊடே AB என்ற ஒரு கயிறு செல்வதாகக் கொள்வோம் (படம் 12·1*a*) கயிற்றின் B என்ற முனை ஒரு புள்ளியில் கட்டப்பட்டுள்ளதாகக் கொள்வோம். A என்ற முனையைக் கையால்




படம் 12·1

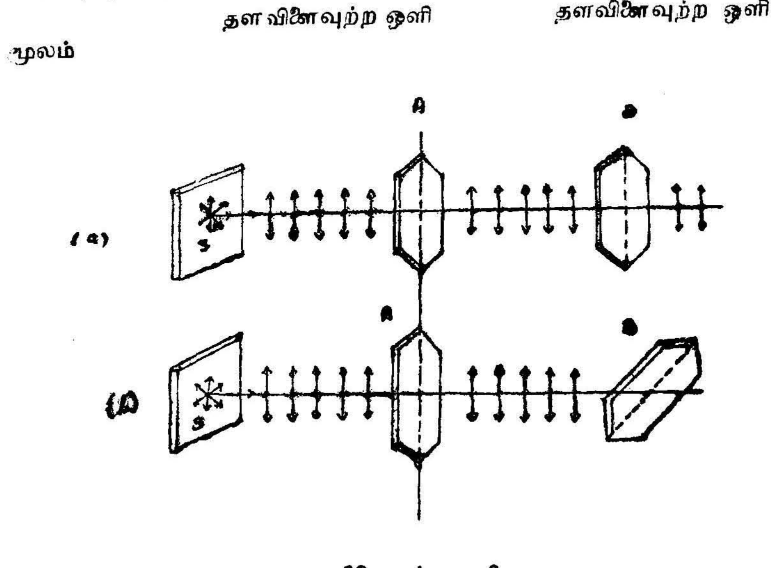
பிடித்துக்கொண்டு AB-க்கு நேர்குத்தாக மேலும் கீழுமாக ஆட்டினால் கயிற்றில் ஓர் அலையியக்கம் ஏற்பட்டு $S_1$, $S_2$ வழியாகப் பரவுவதைக் காணலாம். இந்த அலை AB திசையில் பரவும். கயிற்றுப் பகுதிகள் AB-க்கு நேர்குத்துத் திசையில் இயங்கும். ஆகையால் இந்த அலையியக்கம் குறுக்கலை இயக்கம் எனப்படும். இதில் கயிற்றுப் பகுதிகளின் அலைவு சிறுபிளவுகளுக்கு இணையாக இருக்கும்.

(ஆகையால் $S_1$, $S_2$ இரு சிறு பிளவுகளும் அலையைப் பிளவுகளின் வழியாகக் கடக்கச் செய்யும்). அல்லது பொதுவாக $S_1$ பிளவிற்கு இணையாக அலையின் அலைவு இருந்தால் $S_1$ பிளவின்வழியாக அந்த அலை கடந்துசெல்லும். ஆனால் $S_2$ பிளவை $S_1$ பிளவிற்குக் குறுக்காக வைத்துவிட்டால் $S_1$ வழியாகக் கடந்து வரும் அலைகளை, $S_2$ கடந்துசெல்ல அனுமதிக்காது.

மேலும், கயிற்றின் முனையை ஒரு வட்ட அமைப்பில் சுழற்றினால் கயிறு $S_1$ பிளவுவரை வளைவு இயக்கத்தைக் கொண்டிருக்கும். $S_1$-க்குப்பிறகு, $S_1$பிளவு, மற்றத் திசைகளின் இயக்கத்தைத் தடுத்து விடுவதால், கயிற்றின் இயக்கம், $S_1$ பிளவிற்கு இணையான நேரியல் அதிர்வைக் கொண்டிருக்கும். $S_1$ பிளவும் $S_2$ பிளவும் ஒன்றுக்கொன்று குறுக்காக இருந்தால் $S_2$ பிளவிற்குப் பின் கயிற்றில் எந்த அதிர்வும் இருக்காது.

மாறாகக் கயிற்றில் நெட்டலைகள் தோற்றுவிக்கப்பட்டால் அந்த அலைகள் பிளவுகளை, அவைகள் எந்த நிலையிலிருந்தாலும், கடந்து செல்லும்.

இத்தகையதொரு வியத்தகு ஒளி ஒரு டூர்மூலைன் படிகத்தின் (tourmaline crystal) வழி கடந்து செல்லும் பொழுது ஏற்படுகிறது. S என்ற ஓர் ஒளிமூலத்திலிருந்து, தன்னச்சிற்கு இணையாக வெட்டப்




தளவிளைவுற்ற ஒளி
படம் 12·2

பட்ட A என்ற நீர்மூலைன் படிகத்தில் ஒளிவிழுவதாகக் கொள்வோம் (படம் 12·2a).

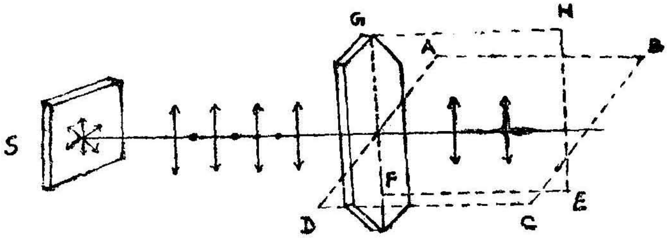
A படிகம் S பிளவுபோல் செயல்படுகிறது. ஒளிக்கதிரை அச்சாகக்கொண்டு A படிகத்தைச் சுழற்றினுல், வெளிவரும் ஒளியில் பெரிய மாறுதல்கள் நிகழ்வதில்லை. பின்னர், B என்ற இரண்டாவது படிகத்தை A-க்கு இணையாக வைப்போம்.

(1) முதலில் இரு படிகங்களையும், அவற்றின் அச்சுகள் எப்பொழுதும் இணையாக இருக்குமாறு சுழற்றினுல் இரண்டாவது (B) படிகத்திலிருந்து வரும் ஒளியில் எந்தவித மாற்றமும் காணப்படுவதில்லை (12·2a).

(2) A-ஐ நிலையாக வைத்துவிட்டு, B-ஐமட்டும், ஒளிக்கதிரை அச்சாகக்கொண்டு சுழற்றினுல், B-யிலிருந்து வரும் ஒளியின் பொலிவு சீராகக் குறைந்துகொண்டே வரும். B படிகத்தின் அச்சு A படிகத்தின் அச்சுக்குக் குறுக்காக வரும்பொழுது B-யிலிருந்து ஒளிவருவது முழுதும் நின்றுவிடும் (படம் 12·2b). B படிகத்தை மேலும் சுழற்றினுல் B-யிலிருந்து வெளிவரும் ஒளியின் செறிவு கொஞ்சம் கொஞ்சமாக அதிகரித்து, B படிகமும் A படிகமும் இணையாக வரும்பொழுது, பெருமத்தை அடைகிறது. இந்தச் சோதனையின் மூலம் ஒளி, குறுக்கலைகளாகப் பரவுகிறது என்பது தெளிவாகிறது. ஒளி நெட்டலைகளால் பரவுவதாக இருந்தால், படிகத்தைச் சுழற்றும்பொழுது ஒளிவெளிவருதல் தடைபடக் கூடாது. A படிகத்திலிருந்து வெளிவரும் ஒளி அலைகளின் அலைவு ஒரு தளத்தில்தானிருக்கும். ஆகையால், A-யிலிருந்து வரும் ஒளி, ஒரு திசை அலைவடைந்தால், 'தளவிளைவுற்ற ஒளி' என்று கூறப்படும்.

12·3. சாதாரண ஒளியும், தளவிளைவாக்கப்பட்ட ஒளியும் (Ordinary light and polarised light): சாதாரண ஒளியில் அலையியக்கம், குறுக்கலைகளாக இருக்கும். அதாவது, ஒளி செல்லுகின்ற திசைக்கு நேர்குத்தான எல்லாத் திசைகளிலும் துகள்கள் அலைந்து கொண்டிருக்கும். இந்த அலைவுகளை, ஒளி செல்லுகின்ற திசைக்கு நேர்குத்தாக, ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தர்கவுள்ள இரு தளங்களில் ஏற்படுகின்ற இரு அலைவுகளாகக் கொள்ளலாம். இந்த இரு தளங்களிலேற்படும் அலைவுகளில் அலைவீச்சுகளும், கட்ட வேறுபாடும் அடிக்கடி மாறிக்கொண்டிருக்கும். இத்தகைய ஒரு சாதாரண ஒளியை ஒரு நீர்முலைன் படிகத்தின்வழி பாயச் செய்தால், வெளிவரும் ஒளியின் அலைவுகள் படுகதிரையும் நீர்முலைன் படிகத்தின் அச்சையும் கொண்ட ஒரு தளத்திற்குள் கட்டுண்டிருக்கும். இத்தகைய ஒளிக்கற்றை 'ஒரு தள தளவிளைவுற்ற ஒளி' (plane polarised light) என்று கூறப்படும், இந்த அலைவுகள் ஏற்படுகின்ற

தளம் அதிர்வுத்தளம் (plane of vibration) என்றும், அதற்கு நேர் குத்தான அதிர்வுகள் அகற்றப்பட்ட தளம், தளவிளைவுத் தளம் (plane of polarisation) என்றும் கூறப்படும் (படம் 12·3). அல்லது தளவிளைவுத் தளத்தில் அதிர்வுகள் இரா. தளவிளைவுத் தளமும் அலைவுத்தளமும் வெவ்வேறானவை.



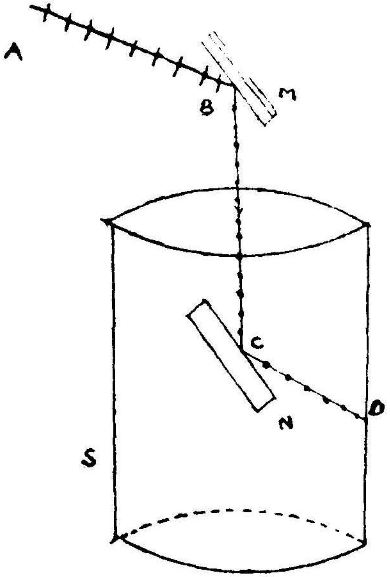

படம் 12·3

படம் 12·3-ல், ABCD, EFGH என்பன ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாகவுள்ள இரு தளங்கள். சாதாரண ஒளியின் துகள் அதிர்வுகள் இந்த இரு தளங்களிலும் ஏற்படுவதாகக் கொள்ளலாம். EFGH தளத்திலேற்படும் அதிர்வுகள் அம்புக்குறிகளாலும் ABCD தளத்திலேற்படும் அலைவுகள் புள்ளிகளாலும் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. சாதாரண ஒளியில் இந்த இரு திசை அதிர்வுகளும் இருப்பதைக் காணலாம். டூர்மலைன் படிகத்தின்வழியாகச் சென்றபின் ABCD தளத்திலேற்படும் அதிர்வுகள் அகற்றப்பட்டிருப்பதையும், EFGH தளத்தில்மட்டும் அதிர்வுகளிருப்பதையும் காணலாம். டூர்மலைன் படிகத்திலிருந்து வெளிவரும் ஒளியின் அதிர்வுகள் ஒரு திசையில் ஒரு தளத்திலிருப்பதால் இந்த ஒளி தளவிளைவுற்ற ஒளி எனப்படும். ABCD என்ற தளத்தில் அதிர்வுகள் அகற்றப்பட்டிருப்பதால் இந்தத் தளம் தளவிளைவுத்தள மெனப்படும். EFGH என்ற தளம் அதிர்வு களைக் கொண்டிருப்பதால் இது அதிர்வுத்தள மெனப்படும்.

12·4. எதிரொளிப்புமூலம் தளவிளைவாக்கல் (Polarisation by reflection): 1808-ல் மாலஸ் என்ற விஞ்ஞானி ஒரு கண்ணாடித் தளத்தில் சாதாரண ஒளி எதிரொளிக்கப்படும்பொழுது, எதி ரொளிக்கப்பட்ட ஒளியில் தளவிளைவு ஏற்படுவதைக் கண்டார்.

படம் 12·4-ல் AB என்ற தளவிளைவுறாத ஒரு கதிர் M என்ற கண்ணாடித் தட்டில் விழுவதாகக் கொள்வோம். எதிரொளிக்கப் பட்ட BC ஒளிக்கதிர் M-க்கு இணையாக வைக்கப்பட்ட இன்னொரு கண்ணாடித் தட்டில் (N) விழும். பின்னர் N தட்டால் எதிரொளிக் கப்பட்ட ஒளி, S என்ற உருளை அமைப்புத் திரையில் விழுந்து திரை

யில் O என்ற இடத்தில் ஓர் ஒளிப் புள்ளியைத் தோற்றுவிக்கும். இப்பொழுது N கண்ணாடித் தட்டை, BC-ஐ அச்சாகக் கொண்டு மெதுவாகச் சுழற்றினால், O-வில் தோன்றும், ஒளிப்புள்ளி திரையில் வட்டப்பாதையில் நகரத்தொடங்கும். ஆனால், இந்தப் புள்ளியின் ஒளிப்பொலிவு கொஞ்சம் கொஞ்சமாகக் குறையத் தொடங்கி, N




படம் 12·4

கண்ணாடித் தட்டை இரு கண்ணாடித் தட்டுகளும் இணையாக இருக்கும் நிலையிலிருந்து 90° கோணம் சுழற்றியவுடன் சிறுமத்தை அடையும். N-ஐ மேலும் சுழற்றினால் ஒளிப்பொலிவு கூடுதலாகி 180° கோணத்தில் பெருமத்தையும், அதன்பின் குறையத்தொடங்கி 270° கோணத்தில் சிறுமத்தையும் மீண்டும் O-வில் பெருமத்தையும் தோற்றுவிக்கும். M-லிருந்து எதிரொளிக்கப்படும் கதிர் BC, AB கதிரையும், M கண்ணாடிக்கு B-ல் வரையும் நேர்குத்துக் கோட்டையும் கொண்ட தளத்திலிருக்கும். இந்தத் தளம் M-ல் ஒளிக்கதிரின் படுதளம். இதேபோல் N கண்ணாடித் துண்டுக்கு C-ல் வரையப் படும் நேர்குத்துக் கோட்டையும், BC என்ற கோட்டையும் கொண்ட தளத்தில் N-ல் எதிரொளிக்கப்பட்ட CD கதிர் இருக்கும். இந்தத் தளம் N-ன் படுதளமாகும். மேலே கூறியவற்றிலிருந்து M-ன் படுதளமும் N-ன் படுதளமும் இணையாக இருக்கும்பொழுது திரையில் ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு பெருமம் என்றும், இரு தளங்களும்

ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாகும்பொழுது திரையில் ஒளிச்செறிவு சிறுமம் என்றும் கண்டோம்.

இவ்வாறு ஏற்படும் ஒளிச்செறிவு வேறுபாடுகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு விளக்கலாம். கண்ணாடித் துண்டில் விழும் AB படுகதிரின் அதிர்வுகளைப் பொதுவாகக் கண்ணாடித் தளத்திற்கு இணையான திசையில் ஏற்படும் அதிர்வுகளாகவும் இவற்றிற்கு நேர்குத்தாகப் படுதளத்திலேற்படும் அதிர்வுகளாகவும் பகுக்கலாம். இவற்றில் எதிரொளிப்பு ஏற்படும்பொழுது கண்ணாடித் தளத்திற்கு இணையான அதிர்வுகளால் ஏற்படும் ஒளிமட்டும் எதிரொளிக்கப்படுகிறது. படுதளத்திலேற்படும் அதிர்வுகளாலான ஒளி கடத்தப்படுகிறது. ஆகையால், BC கதிர், M-ன் படுதளத்தில் தளவிளைவுற்ற கதிராக இருக்கும். N கண்ணாடி M-க்கு இணையாகவிருக்கும்பொழுது, N-ன் படுதளம் M-ன் படுதளத்திற்கு இணையாக இருக்கும். அப்பொழுது N-ல் படுகதிரின் அதிர்வுகள் படுதளத்திற்கு நேர்குத்தாக இருக்கும். ஆகையால், இந்த அதிர்வுகளைக் கொண்ட ஒளி எதிரொளிக்கப்படுகிறது. ஆனால், N சுழற்றப்பட்டு M-ன் படுதளமும் N-ன் படுதளமும் நேர்குத்தாகும்பொழுது BC கதிரின் அதிர்வுகள் படுதளத்திலேற்படுவதாக ஆகும். ஆகையால், இந்த அதிர்வுகளுக்கான ஒளி எதிரொளிக்கப்படமாட்டாது. ஆகையால், இரு கண்ணாடியின் படுதளங்களும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாகும்பொழுது ஒளிச்செறிவு சிறுமமாகிறது.

மேலும், இரு கண்ணாடிகளின் படுதளங்களை ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாக MN இவற்றில் விழும் கதிர்களின் படுகோணங்களை மாற்றிக்கொண்டு வந்தால் ஒரு குறிப்பிட்ட படுகோணத்தில் திரையில் ஏற்படும் சிறும ஒளிவிளக்கம் சுழிநிலை அடையும். இந்தக் கோணத்தில் BC கதிரில் முழு தளவிளைவு ஏற்பட்டுள்ளது. மற்றக் கோணங்களில் பகுதித் தளவிளைவுதான் ஏற்பட்டுள்ளது. எந்தவொரு கோணத்தில் ஒளி விழும்பொழுது எதிரொளிப்புக் கதிர் முழு தளவிளைவு அடைகிறதோ, அந்தப் படுகோணத்திற்குத் தளவிளைவு கோணம் (angle of polarisation) என்று பெயர்.

12·5. மாலஸ் விதி (Law of Malus): முற்பகுதியில் கூறிய சோதனையின் அடிப்படையில் அமைந்த கருவிக்கு போலரிஸ்கோப் (polariscope) என்று பெயர். அதில் கண்ணாடி M தளவிளைவாக்கி (polariser) என்றும், N கண்ணாடி பகுப்பான் (analyser) என்றும் கூறப்படும். படம் 12·4-ல் CD கதிர் இருமுறை எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர். இவ்வாறு இருமுறை எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிரின் ஒளிச்செறிவைப்பற்றிக் கூறும் விதி, மாலஸ் விதி ஆகும். அதனைக் கீழ்க்கண்டவாறு கூறலாம். 'ஓர் ஒளிக்கற்றை ஒரு கண்ணாடித் துண்டால் முழுதும் தளவிளைவுறும்பொழுது, அந்த ஒளி, மற்று

மோர் எதிரொளிப்புக்கு ஆட்பட்டால், இரு முறை எதிரொளிக்கப் பட்ட ஒளியின் ஒளிச்செறிவு, அந்த ஒளிக்கற்றையின் இரு கண்ணாடி களின் படுதளத்திற்கிடையிலுள்ள கோணத்தின் கொஸைனின் (cosine) இருமடிக்கு ஏற்ப மாறும்.'

படம் 12·4-ல் M கண்ணாடியால் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளியின், அதிர்வின் வீச்சு '$a$' என்று கொள்வோம். இந்த அதிர்வு ஒளியின் M கண்ணாடித்தட்டின் படுதளத்திற்கு நேர்குத்துத் திசையி லிருக்கும். N கண்ணாடித்தட்டு M-க்கு இணையாக இருந்தால், N கண்ணாடியில் BC யின் படுதளமும் M கண்ணாடியின் படுதளத்திற்கு இணையாக இருக்கும். N-ல் எதிரொளிப்பு ஏற்படும்பொழுது அதிர்வு கள் படுதளத்திற்கு நேர்குத்தாக இயங்கும். N கண்ணாடியின் படுதளம் M-ன் படுதளத்திற்கு $\theta$ கோணம் சாய்வாக இருந்தால், BC ஒளிக்கற்றையின் அதிர்வுகளை N படுதளத்திற்கு இணையாகவும், N படுதளத்திற்கு நேர்குத்தாகவும் பகுக்கலாம். N படுதளத்தின் இணை அதிர்வுகளின் அலைவீச்சு $a \sin \theta$ என்றும் N படுதளத்திற்கு நேர்குத்ததிர்வுகளின் அலைவீச்சு $a \cos \theta$ என்றும் ஆகும். இவற்றில் படுதளத்தின் நேர்குத்ததிர்வுகள்மட்டும் N-ல் எதிரொளிக்கப்பட்டு CDகதிராக வருகின்றன. ஆகையால், இரு முறை எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளி அதிர்வின் அலைவீச்சு $a \cos \theta$ ஆகிறது. ஆகவே, அதன் ஒளிச் செறிவு $a^2 \cos^2 \theta$ ஆகும். அல்லது இரு முறை எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளியின் செறிவு $\cos^2 \theta$ விற்கு ஏற்ப மாறும்.

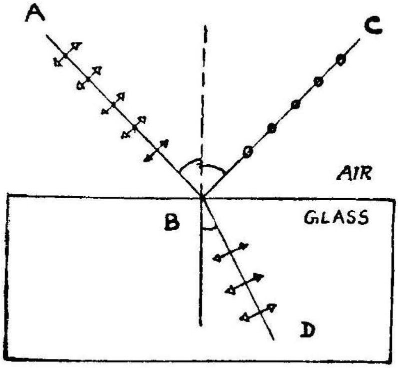
12·6. ப்ரூஸ்டர் விதி (Brewster's law): •1811-ல் ப்ரூஸ்டர் என்ற விஞ்ஞானி, ஒளி பல ஊடகங்களில் எதிரொளிக்கப்படும் பொழுது அதிலேற்படும் தளவிளைவுகளை அறிய, சில சோதனைகள் நடத்தினர். அவர், ஒளி, ஓர் ஒளிபுகு ஊடகத்தில், ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்தில் விழுந்து எதிரொளிக்கப்படும்பொழுது, எதிரொளிப்பு ஒளி படுதளத்தில் தளவிளைவுற்றுள்ளதாகக் கண்டார். அந்தப் படுகோணம், முன்கூறியபடி, தளவிளைவுக் கோணம் (Polarising angle) எனப்படும்.

அவர் தம்முடைய சோதனைகளின் பயனாகத் தளவிளைவுக் கோணத்தின் டேன்ஜெண்ட், (tangent of the polarising angle) அந்த ஊடகத்தின் ஒளி விலகெண்ணிற்குச் சமம் என்று கண்டார்.

இந்த விதியைக் கொண்டு அவர் தளவிளைவுக் கோணத்தில் ஒளி விழும்பொழுது எதிரொளிப்புக்கதிரும், ஊடகத்தினுள் ஒளிவிலகுக் கதிரும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாக இருக்குமென்றும் நிரு பித்தார்.

AB என்ற தளவிளைவுறாத ஒளிக்கதிர், கண்ணாடி ஊடகத்தில் தளவிளைவுக் கோணத்தில் விழுவதாகக் கொள்வோம். (படம் 12·5)

அதன் ஒரு பகுதி BC கதிராக எதிரொளிக்கப்படுகிறது. மறு பகுதி BD என்ற ஒளிவிலகுக் கதிராகஊடுருவுகிறது. $i$-ஐப்படுகோண மாகவும், $r$-ஐ விலகுகோணமாகவும் கொண்டால், ஸ்நெல் விதிப்படி,




படம் 12·5

$$\text{ஒளிவிலகெண் } \mu = \frac{\sin i}{\sin r} \text{ ஆகும்.}$$

ஆனால், ப்ரூஸ்டர் விதிப்படி, $\mu = \tan i$

$$= \frac{\sin i}{\cos i} \text{ ஆகும்.}$$

இரண்டையும் இணைத்தால்,

$$\sin r = \cos i \text{ என்று ஆகும்.}$$

$$\text{அல்லது } \cos\left(\frac{\pi}{2} - r\right) = \cos i \text{ என்று ஆகும்.}$$

$$\text{அல்லது } \frac{\pi}{2} - r = i \text{ என்றும்,}$$

$$i + r = \frac{\pi}{2} \text{ என்றுகும்.}$$

படம் 12·5-ல் $\angle CBD + i + r = \pi$

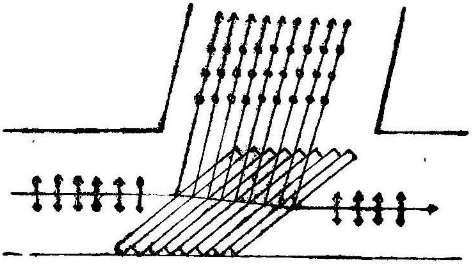
$$\text{ஆகையால் } \angle CBD = \pi - (i + r) = \pi - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{2}$$

$\angle$CBD கோணம் எதிரொளிப்புக் கதிருக்கும் ஒளிவிலகுக் கதிருக்குமிடையிலுள்ள கோணமாகும். ஆகையால், எதிரொளிப்புக் கதிரும் ஒளிவிலகுக் கதிரும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாகவிருக்கும்

படுதளத்தில் அதிர்வுகளைக் கொண்டிருக்கும் ஒளிப்பகுதி BC கதிரின்வழி எதிரொளிக்கப்படவில்லை என்பது தெளிவு. கதிரில் படு

தளத்திற்கு நேர்குத்தாக இயங்கும் அதிர்வுகள்தான் ஒளிச்செறிவை ஏற்படுத்துகின்றன. ஆகையால், BCகதிர் வழியாக சமதள-தளவிளை வுற்ற ஒளி கிடைக்கிறது. ஆனால், ஒளிவிலகுக் கதிர், படுதளத்தில் ஏற்படும் அதிர்வுகளையும், படுதளத்திற்கு நேர்குத்தாக இயங்கும் அதிர்வுகளையும் கொண்டிருக்கும். ஆனால், படுதளத்தில் ஏற்படும் அதிர்வுகளை BC கதிர் அதிகமாகக் கொண்டிருக்கும். ஆகையால், அது ஒரு பகுதி-தளவிளைவு ஒளியாகும் (partially polarised light).

12·7. தட்டடுக்கு (Pile of plates): பொதுவாக எந்த ஓர் ஒளிபுகு ஊடகப்பரப்பில் எதிரொளிப்பு ஏற்படும்பொழுதும், படு ஒளியில் ஒரு குறைந்த பகுதிதான் எதிரொளிக்கப்படுகிறது. உதாரண மாக, கண்ணாடியில் ஒளி, தளவிளைவுக் கோணத்தில்விழும் பொழுது,



படம் 12·6

படுதளத்திற்கிணையாக அதிர்வுகொண்டிருக்கும் ஒளி முழுவதும் கண்ணாடியில் ஊடுருவிச் செல்கிறது. ஆனால், படுதளத்திற்கு நேர்குத்தாக அதிரும் ஒளியில் 15 சதவீதம் எதிரொளிக்கப்பட்டு 85 சதவீதம் கடத்தப்படுகிறது. ஆகையால், கண்ணாடித் தட்டு களை ஒன்றுக்கொன்று இணையாக அடுக்கிவைத்தால் முதல் தட்டில் தளவிளைவுக் கோணத்தில் விழும் ஒளி முதல் தட்டில் எதிரொளிப்பு ஏற்படும்பொழுது படுதளத்திற்கு நேர்குத்துத் திசையில் அதிர்வு கொண்டிருக்கும். ஒரு பகுதி எதிரொளிக்கப்பட்டு மிகுதி கடத்தப் படுகிறது. இந்த ஊடுருவிய ஒளி இரண்டாவது தட்டில் விழும் பொழுது, மீண்டும் படுதளத்திற்கு நேர்குத்துத் திசையில் அதிர்வு கொண்டிருக்கும் ஒளியின் மற்றொரு பகுதி எதிரொளிக்கப்பட்டு மிகுதி ஒளி கடத்தப்படுகிறது. இதேபோல் 15 அல்லது 20 மற்ற தட்டுகளிலும் எதிரொளிக்கப்பட்டபின் கடத்தப்படும். ஒளியில் படுதளத்திற்கு நேர்குத்தாக இயங்கும் அதிர்வுகள் முழுதும் நீக்கப் பட்டிருக்கும். கடந்துவந்த ஒளியின் அதிர்வுகளெல்லாம் படு தளத்திற்கிணையாக இயங்கும். இவ்வாறு தட்டடுக்குமூலம் ஒளி விலகலால் ஏற்படும் ஒளி தளவிளைவு அடைகிறது. இந்தத் தளவிளை வுற்ற ஒளியின் அதிர்வுத்தளம் படுதளத்திலிருக்கும்.

தட்டடுக்கு அமைப்பில், பல மெல்லிய கண்ணாடித் தட்டுகள் தகுந்த குழாயினுள் குழாயின் அச்சுக்கு 32·5° சாய்வாகப் பொருத்தப் பட்டுள்ளன. ஒரு நிற ஒளிக்கற்றை இத்தகைய ஒரு தட்டடுக்கில் தளவிளைவுக் கோணத்தில் விழுந்தால் தட்டடுக்கின்வழியாக ஊடுருவி வெளிவரும் ஒளி படுதளத்தில் அதிர்வுகொண்ட தள விளைவுற்ற ஒளியாக இருக்கும். இந்தத் தட்டடுக்குகளால் எதிரொ ளிக்கப்பட்ட ஒளி ஒருங்கிணைந்து படுதளத்திற்கு நேர்குத்துத் திசை யில் அதிர்வுகொண்ட தளவிளைவுற்ற ஒளியாக இருக்கும்.

பொதுவாக, ஒளி, படுதளத்திற்கு நேர்குத்தாகத் தளவிளைவுற் றிருந்தால், அதன் அதிர்வுகள் படுதளத்திலிருக்கும்.

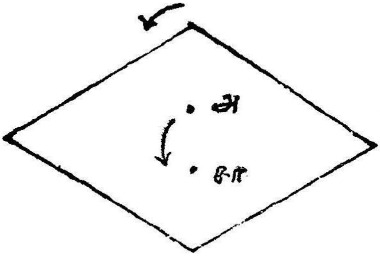
ஒளி படுதளத்தில் தளவிளைவுற்றிருந்தால் அதன் அதிர்வுகள்படு தளத்திற்கு நேர்குத்துத் திசையில் இருக்கும்.

## இரட்டை ஒளி விலக்கம்
## (Double Refraction)

12·8. இரட்டை ஒளி விலக்கம் (Double refraction): ஒரு கால்ஸைட் (calcite) படிகத்தில் ஓர் ஒளிக்கதிர் விழுந்தால், அது படிகத்தினுள் இரு கதிர்களாகப் பிரிந்துசெல்லும். இதில் ஓர் ஒளி விலக்கக் கதிர் ஒளிவிலக்க விதிகளுக்கேற்ப அமையும். மற்றொரு கதிர், பொதுவாக ஒளிவிலக்க விதிகளுக்கேற்ப அமையாது. இவற்றில் முதல் கதிர் சாதாரணக் கதிர் (ordinary ray) என்றும் இரண்டாவது கதிர் அசாதாரணக் கதிர் (extraordinary ray) என்றும் கூறப்படும். இவ்வாறு இரு ஒளி விலக்கக் கதிர்கள் ஏற்படுவதை முதன்முதலில் 1669ஆம் ஆண்டு டச்சு நாட்டுத் தத்துவமேதை பார்த்தோலினஸ் (Bartholinus) என்பவர் கண்டு பிடித்தார். இத்தகைய வியத்தகு விளைவு, குவார்ட்ஸ், மைகா, போன்ற மற்றப் படிகங்களிலும் ஒளிபுகும்பொழுது ஏற்படுகின்றது. இவ்வாறு ஒரு படிகத்தில் ஒளிபுகும்பொழுது அந்த ஒளி இரு வழிகளில் பிரிந்துசெல்வது இரட்டை ஒளி விலக்கம் என்று கூறப் படும். சில படிகங்களில் ஒரு திசையிலும், குறிப்பிட்ட சில படிகங் களில் இரு திசைகளிலும் ஒளிவிழும்பொழுது, இத்தகைய ஒளி விலக்கம் ஏற்படுவதில்லை. இவற்றில் முதல் வகைப் படிகம் ஓரச்சுப்படிகம் (uniaxial crystal) என்றும், இரண்டாம் வகைப் படிகம் ஈரச்சுப்படிகம் (biaxial crystal) என்றும் கூறப்படும்.

12·9. சாதாரண, அசாதாரணக் கதிர்கள் (ordinary rays and extraordinary rays): ஒரு காகிதத் துண்டில் ஒரு கரும்புள்ளி யிட்டு அதன்மீது ஒரு கால்ஸைட் படிகத்தை வைத்துப் படிகத்தின்

வழி புள்ளியைப் பார்த்தால், புள்ளியின் இரு பிம்பங்கள் தோன்றும். இப்பொழுது படத்தில் காட்டியவாறு படிகத்தைச் சுழற்றினால் ஒரு பிம்பம் நிலையாக விருப்பதையும், மற்றொரு பிம்பம் படிகத்தின் சுழற்சியுடன் சேர்ந்து சுற்றுவதையும் காணலாம்.



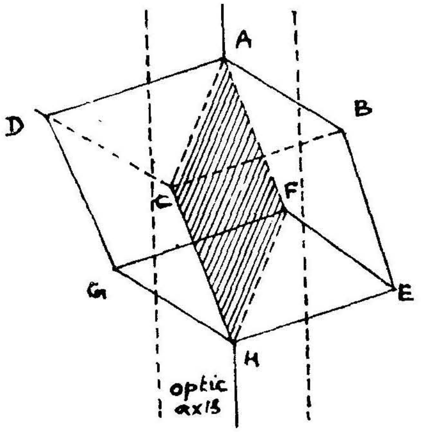

படம் 12·7

நிலையாக இருக்கும் பிம்பம் சாதாரணக் கதிர்களாலேற்படும் பிம்பமாகும். சுற்றிவரும் பிம்பம் அசாதாரணக் கதிர்களாலேற்படும் பிம்பமாகும்.

இவற்றில் சாதாரணக் கதிரின் ஒளிவிலகெண் $\mu_0 = \dfrac{\sin i}{\sin r_1}$ ஆகும். அசாதாரணக் கதிரின் ஒளிவிலகெண் $\mu_e = \dfrac{\sin i}{\sin r_2}$ ஆகும். ஒளிவிலகல் விதிகளைக் கொண்டியங்கும் சாதாரணக் கதிரின் விலகெண் மாறுமலிருக்கும். ஆனால், அசாதாரணக் கதிரின் விலகெண் படுகோணத்திற்கு ஏற்ப மாறிக்கொண்டிருக்கும். ஓர் ஒளிபுகு பொருளின் விலகெண், வெற்றிடத்தில் ஒளியின் வேகத்திற்கும், பொருளினுள் ஒளியின் வேகத்திற்குமுள்ள தகவு ஆகும். எல்லாத் திசைகளிலும் விலகெண் மாறுமலிருந்தால், அந்தக் கதிரின் திசைவேகம் எல்லாத் திசைகளிலும் ஒன்றாக இருக்கும். ஆனால், திசைக்கேற்ப விலகெண் மாறுவதால் அசாதாரண ஒளியின் திசை வேகம் வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறாக இருக்கும் கால்சைட் படிகத்தில் $\mu_0 > \mu_e$. ஆகையால் அசாதாரணக் கதிர், படிகத்தினுள் சாதாரணக் கதிரைவிட அதிக திசை வேகத்தில் பரவும்.

12·10. ஒளி அச்சு (Optic axis): ஒரு கால்சைட் படிகம், ஒவ்வொன்றும் இணைகரங்களாகவுள்ள, ஆறு பக்கங்களைக்கொண்டிருக்கும். ஒவ்வோர் இணைகரத்தின் கோணங்களும் 102° ஆகவும் 72° ஆகவுமிருக்கும். இந்தப் படிகத்தில் எதிரெதிராகவுள்ள இரு முனைகள் ஒவ்வொன்றிலும் சந்திக்கும் மூன்று கோணங்களும் விரி கோணங்களாக இருக்கும். இந்த முனைகளில் ஒன்றின் வழியாகவும், இந்த முனையில் சந்திக்கும் மூன்று பக்கங்களுக்கும் சம சாய்வு

உடையதாகவும் படிகத்தினுள் வரையப்படும் கோடு படிகவியல் அச்சாகும் (crystallographic axis). சம ஓரங்களையுடைய ஒரு படிகத்தில் குறைந்த நீளமுள்ள மூலை விட்டம், அதன் படிகவியல் அச்சாகும். படிகத்தினுள் படிகவியல் அச்சுக்கு இணையாகவுள்ள எந்தத் திசையும் ஒளி அச்சு (optic axis) எனப்படும். ஒளி அச்சு என்பது படிகத்தினுள் ஒரு திசையைக் குறிக்கிறது. அது எந்த வொரு கோடுமன்று வென்பதை நாம் நினைவில் கொள்ளவேண்டும்.




படம் 12·8

ஒரு படிகத்தில் ஒளி அச்சுத் திசையில்தான் சமதள அலைவுகள், அவற்றின் அலைவுகள் எந்தத் திசையிலிருந்தாலும், ஒரே அலைத்திசை வேகத்தில் (wave velocity) செல்லுகின்றன. மேலும், கால்சைட் படிகத்தைப் பொறுத்தவரை ஒளியின் சமதள அலை ஒளி அச்சுத் திசையான, இந்த ஒரு திசையில் விழும்பொழுதுதான் சாதாரண ஒளிக்கதிரும், அசாதாரண ஒளிக்கதிரும் ஒரே திசையில், ஒரே திசை வேகத்தில் செல்லும்.

12·11 படிகத்தின் முதன்மை வெட்டு (Principal section of the crystal): ஒரு படிகத்தின் ஒளி அச்சின்வழியாக எதிரெதிராக வுள்ள இரு பக்கங்களுக்கு நேர்குத்தாகவிருக்கும் ஒரு தளம் அதன் முதன்மை வெட்டு எனப்படும் (படம் 12·8). ஒரு படிகம் ஆறு பக்கங்களைக் கொண்டிருக்கும்பொழுது, அந்தப் படிகத்தில் எந்தப் புள்ளியும் மூன்று முதன்மை வெட்டுகளைக் கொண்டிருக்கும் கால்சைட் படிகத்தின் ஒரு முதன்மை வெட்டு 109° கோணமும் 71° கோணமும் கொண்ட இணைகரமாக அமையும்.

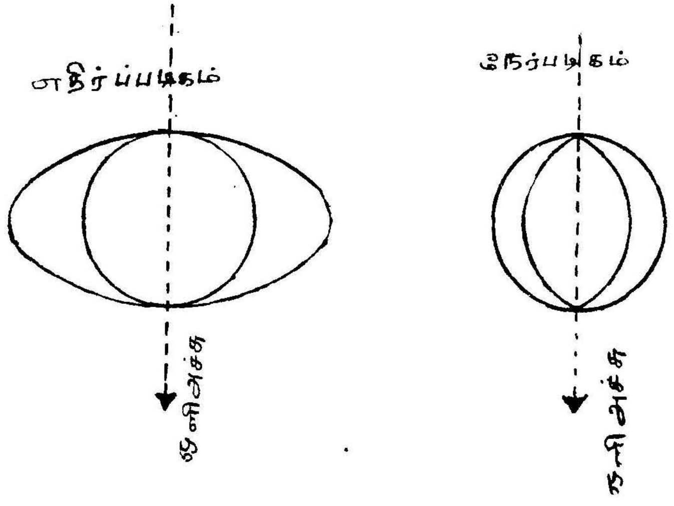
12·12. முதன்மைத் தளம் (Principal plane): ஒளி அச்சுவழி யாகவும் சாதாரணக் கதிர்வழியாகவும் படிகத்தினுள் வரையப்படும்

ஒரு தளம், சாதாரணக் கதிரின் முதன்மைத் தளமாகும். இதேபோல் ஒளி அச்சையும் அசாதாரணக் கதிரையும் படிகத்தினுள் தன்னுள் கொண்ட தளம் அசாதாரணக் கதிரின் முதன்மைத் தளமாகும். பொதுவாக இந்த இரு தளங்களும் ஒருங்கிணைவதில்லை. ஆனால், படிகத்தின் முதன்மை வெட்டு ஒளியின் படுதளமானால், படிகத்தின் முதன்மைவெட்டும், இரு கதிர்களின் முதன்மைத் தளங்களும் ஒருங்கிணையும்.

12·13. இரட்டை ஒளிவிலக்கத்தால் தளவிளைவு : (Polarisation by double refraction): கிடைதளத்திலுள்ள (horizontal plane) ஒளியூட்டப்பட்ட ஒரு சிறு துளையின்மேல் கால்ஸைட் படிகம் ஒன்று வைக்கப்பட்டுள்ளதாகக் கொள்வோம். படிகத்திற்கு நேர் மேலிருந்து பார்த்தால் துளையின் இரு பிம்பங்கள் காணப்படும். இப்பொழுது படிகத்திற்குமேல் கிடைதளத்திற்குச் சாய்வாக ஒரு கண்ணாடித் தட்டைப் பிடித்தால் துளையின் சாதாரண, அசாதாரண பிம்பங்கள் இரண்டும் கண்ணாடித் தட்டில் எதிரொளிக்கப்பட்டுக் காணப்படும். படிகத்தை ஒரு செங்குத்துக்கோட்டை அச்சாகக் கொண்டு சுழற்றினால், சாதாரண பிம்பத்தின் ஒளிச்செறிவு அதிகமாகிக்கொண்டும், அசாதாரண பிம்பத்தின் ஒளிச்செறிவு குறைந்து கொண்டும் வரும். கண்ணாடித் தட்டில் இந்த இரு கதிர்களின் சாதாரண, அசாதாரணப் படுதளம் படிகத்தின் முதன்மை வெட்டிற்கு இணையாகும்பொழுது சாதாரண பிம்பமட்டும்தான் தெரியும். அசாதாரண பிம்பம் மறைந்துவிடும். கண்ணாடித்தட்டு அதன் படுதளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியைமட்டும்தான் எதிரொளிக்கும். படுதளத்திற்கு நேர்குத்துத் தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியை எதிரொளிக்காது. ஆகையால், அசாதாரணக் கதிர் படிகத்தின் முதன்மை வெட்டிற்கு நேர்குத்தான தளத்தில் தளவிளைவுற்றுள்ளது. படிகத்தை மேலும் சுழற்றினால் சாதாரண பிம்பத்தின் ஒளிச்செறிவு குறைந்துகொண்டும் அசாதாரண பிம்பத்தின் ஒளிச்செறிவு அதிகமாகிக்கொண்டும் வரும். கண்ணாடித் தட்டில் இவ்விரு பிம்பங்களுக்கான கதிர்களின் படுதளம் படிகத்தின் முதன்மை வெட்டிற்கு நேர்குத்தாகும்பொழுது சாதாரண பிம்பம் மறைந்துவிடும். அசாதாரண பிம்பமட்டும் காணப்படும். ஆகையால் சாதாரணக் கதிர்கள் படிகத்தின் முதன்மை வெட்டுத்தளத்தில் தளவிளைவுற்றிருக்கும். தளவிளைவுற்ற கதிரில் அதிர்வுகள் தளவிளைவுத்தளத்திற்கு நேர்குத்தாக இயங்கும். ஆகையால், அசாதாரணக் கதிரின் அதிர்வுகள் முதன்மைத் தளத்திற்கு இணையாக இயங்கும். சாதாரணக் கதிரின் அதிர்வுகள் முதன்மைத் தளத்திற்கு நேர்குத்துத் திசையில் இயங்கும். அல்லது, இரட்டை விலக்கத்தின் சாதாரண, அசாதாரணக் கதிர்களிரண்டும் முறையே முதன்மைத் தளத்திலும், முதன்மைத் தளத்திற்கு நேர்குத்தான தளத்திலும் தளவிளைவுற்றிருக்கும்.

12·13. ஓரச்சுப் படிகங்களில் இரட்டை ஒளிவிலக்கத்திற்கு ஹைஜயன் விளக்கம் : (Huygen's explanation for double refraction): ஹைஜயன் தம்முடைய இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிக் கொள்கையைக்கொண்டு இரட்டை ஒளி விலக்கத்திற்கு விளக்கம் தந்துள்ளார். இரட்டை ஒளிவிலக்கமேற்படும் ஊடகத்தினுள் ஓர் ஒளிப் புள்ளி இரு அலைமுகப்புகளைத் தோற்றுவிக்கும். சாதாரணக் கதிரின் திசைவேகம் படிகத்தினுள் எல்லாத் திசைகளிலும் ஒன்றுக இருப்பதால், அதன் அலைமுகப்பு கோள வடிவிலிருக்கும். ஆனால், அசாதாரணக் கதிரின் திசைவேகம் திசைக்கேற்ப மாறுவதால், அதன் அலைமுகப்பு நீள்வட்டத் திண்மமாக (ellipsoid) இருக்கும். சாதாரண, அசாதாரணக் கதிர்களின் திசைவேகங்கள் ஒளிஅச்சுத் திசையில் ஒன்றுகவிருக்கும்.

படம் 12·9-a-ல், $S_1$ கால்ஸைட் படிகத்தினுள் உள்ள ஒரு புள்ளி ஒளிமூலத்தைக் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். கோளம் சாதாரணக் கதிரின் அலைமுகப் பரப்பைக் (wave surface) குறிக்கும். நீள்வட்டத் திண்மம் அசாதாரணக் கதிரின் அலைமுகப் பரப்பைக் குறிக்கும்.




படம் 12·9

சாதாரண அலைமுகப் பரப்பு, அசாதாரண அலைமுகப் பரப்பினுள் அடங்கியிருக்கும். இத்தகைய படிகங்கள் எதிர்ப்படிகம் (negative crystal) எனப்படும். குவார்ட்ஸ் (quartz) போன்ற படிகங்களில் அசாதாரண அலைமுகப் பரப்பு, சாதாரண அலைமுகப் பரப்பினுள் அடங்கியிருக்கும். இத்தகைய படிகங்கள் நேர்படிகம் (positive crystal) எனப்படும்.

1. ஓரச்சு எதிர்ப்படிகங்களில் $\mu_o > \mu_e$ · அசாதாரணக் கதிரின் திசைவேகம் நீள்வட்டத் திண்மத்தின் ஆரவெக்டாருக்கு (radius vector) ஏற்ப மாறும். அசாதாரணக் கதிரின் குறைந்த திசை வேகம் - சாதாரணக் கதிரின் திசை வேகத்திற்குச் சமம். ஒளி அச்சுத் திசையில் இந்த இரு திசை வேகங்களும் ஒன்றாக இருக்கும். ஒளி அச்சுத் திசைக்கு நேர்குத்துத் திசையில் அசாதாரணக் கதிரின் திசைவேகம் பெருமமாகவிருக்கும்.

2. ஓரச்சு நேர்படிகத்தில் $\mu_e > \mu_o$. ஆகையால் அசாதாரணக் கதிரின் திசைவேகம் ஒளி அச்சுக்கு நேர்குத்துத் திசையில் சிறுமமாக விருக்கும். ஒளி அச்சுத் திசையில் பெருமமாக, சாதாரணக் கதிரின் திசைவேகத்திற்குச் சமமாக விருக்கும். ஆகையால், ஹைஜயன் கொள்கைப்படி ஓரச்சுப்படிகத்திஞல் அலைமுகப்புகள், கோளமாகவும், நீள்வட்டத் திண்மமாகவும் இருக்கும். மேலும் இவையிரண்டும் இரு புள்ளிகளில் ஒன்றை ஒன்று தொட்டுக் கொண்டிருக்கும். இந்த இரு புள்ளிகளையும் இணைக்கும் கோடு ஒளி அச்சுத் திசையைக் குறிக்கும்.

3. ஓரச்சுப்படிகங்களில் அசாதாரணக் கதிரின் திசை வேகம் படிகத்தில் அது செல்லும் திசைக் கேற்ப விருக்கும். எதிர்ப் படிகங்களில் இந்தக் கதிரின் திசை வேகம், ஒளி அச்சுக்கு நேர்குத்துத் திசையில் பெருமமாக இருக்கும். அசாதாரணக் கதிர், ஒளி அச்சுத் திசைக்கு நேர்குத்துத் திசையில் செல்லும்பொழுது, ஒளி விலகல் கோணத்தால் ஏற்படும் விலகெண் முதன்மை விலகெண் (principal refractive index) எனப்படும். அதனை

$$\mu_E = \frac{\text{வெற்றிடத்தில் ஒளியின் வேகம்}}{\text{ஒளி அச்சுக்கு நேர்குத்துத் திசையில் அசாதாரணக் கதிரின் திசை வேகம்}}$$

என்றுகும். ஆகையால் விலகெண் சிறுமமாக விருக்கும்.

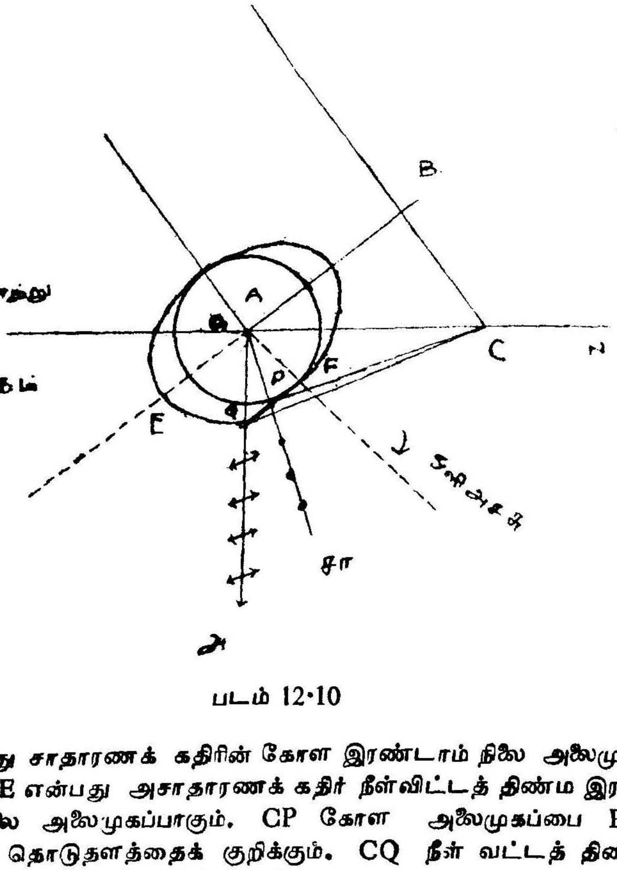
இதேபோல் நேர்ப்படிகங்களில் ஒளி அச்சுக்கு நேர்குத்துத் திசையில் அசாதாரணக் கதிரின் திசை வேகம் சிறுமமாகவிருக்கும். இந்தத் திசையில் ஒளிவிலகெண் பெருமமாகவிருக்கும். இது நேர்படிகங்களில் முதன்மை விலகெண் எனப்படும்.

## 12·15. ஓரச்சுப் படிகங்களில் ஒளிவிலகல்-அலைமுகப்பை ஹைஜயன் அமைப்பு முறையில் காணல் (Huygen's construction for the refracted wavefront in negative uniaxial crystal) :

1. ஒளி அச்சு படுதளத்திலும், படிகப் பரப்பிற்குச் சாய்வாகவும் இருக்கும்பொழுது படிகத்திலேற்படும் அலைமுகப்பு.

(அ) படு அலை முகப்பு படிகப் பரப்பில் சாய்வாக விழுதல் :

ஓர் எதிர்ப் படிகத்தின் MN பரப்பில் AB என்ற தள அலை முகப்பு சாய்வாகப் படுவதாகக் கொள்வோம். படிகம் அதன் ஒளி அச்சுப் படுதளத்தில் ஒரு திசையில் சாய்வாக இருக்குமாறு வெட்டப் பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம் (படம் 12·10).




படம் 12·10

$O_1$ என்பது சாதாரணக் கதிரின் கோள இரண்டாம் நிலை அலைமுகப் பாகும். E என்பது அசாதாரணக் கதிர் நீள்விட்டத் திண்ம இரண்டாம் நிலை அலைமுகப்பாகும். CP கோள அலைமுகப்பை P-ல் தொடும் தொடுதளத்தைக் குறிக்கும். CQ நீள் வட்டத் திண்ம அலைமுகப்பை Q-ல் தொடும் தொடுதளம்.

ஹைஜயன் அமைப்பு முறைப்படி, படு அலைமுகப்பின் B பகுதி C-ஐ அடையும் நேரத்தில் படிகத்தினுள் தோன்றும் சாதாரண இரண்டாம் நிலை அலைகள் AP தொலைவு பரவியிருக்கும். அசாதாரணக் கதிரின் இரண்டாம் நிலை அலைகள் AQ தொலைவு பரவியிருக்கும்.

ஒளியின் திசை வேகம் காற்றில் $V_a$ என்றும் படிகத்தில் சாதாரண அலையில் வேகம் $V_o$ என்றும் அசாதாரண அலையின் வேகம் V என்றும் கொண்டால்,

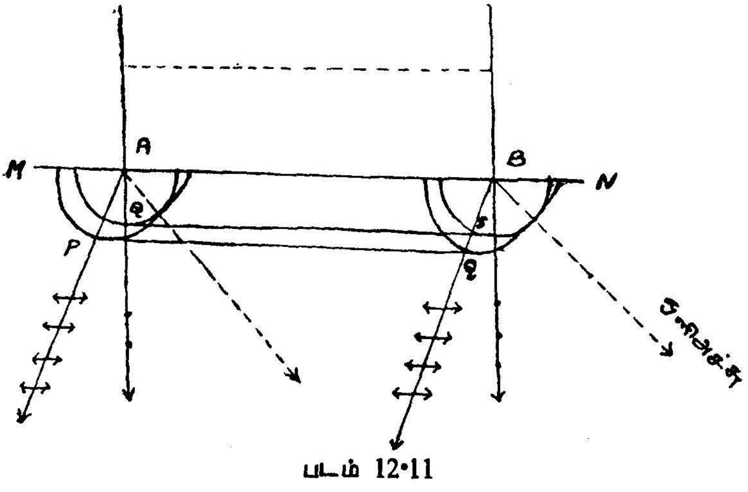
$$\frac{BC}{Va} = \frac{AP}{V_o} = \frac{AQ}{Ve} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots$$ என்றுமாகும்

ஆகையால், $AP = BC \frac{V_o}{V_a} = \frac{BC}{Va/V_o} = \frac{BC}{\mu_o}$ என்றும்

$$AQ = BC. \frac{Ve}{V_a} = \frac{BC}{\mu e} \quad \ldots \quad \ldots$$ என்றுமாகும்.

இவைகள் முறையே சாதாரண அசாதாரணக் கதிர்களின் விலகெண்களைக் குறிக்கும். ஆகையால், படம் 10-ல் CP, CQ என்பன முறையே சாதாரண, அசாதாரண அலைமுகப்புத் தளங்களைக் குறிக்கும். ஆகையால், இரு கதிர்களும் இரு திசைகளில் இரு வேகங்களில் பரவுகின்றன. மேலும் இந்த இரு அலைமுகப்புகளும் ஒளி அச்சுத் திசையில் ஒன்றை ஒன்று தொடும். இந்தத் திசையில் இரு அலைகளின் திசை வேகங்களும் ஒன்றுகும். நீள்வட்டத் திண்மத்தின் அரைப்பெரும அச்சு (semi major axis) $\frac{BC}{\mu_E}$ ஆகவும் அரைச்சிறும அச்சு (semi minor axis) $\frac{BC}{\mu_o}$ ஆகவுமிருக்கும்.

(ஆ) படு அலைமுகப்பு, படிகப் பரப்பில் நேர்குத்தாக விழுதல்: AB என்ற அலைமுகப்பு MN என்ற படிகப்பரப்பில் நேர்குத்தாக விழுவதாகக் கொள்வோம். அலைமுகப்புப் படிகப் பரப்பிற்கு இணையாக விருக்கும் (படம் 12·11).

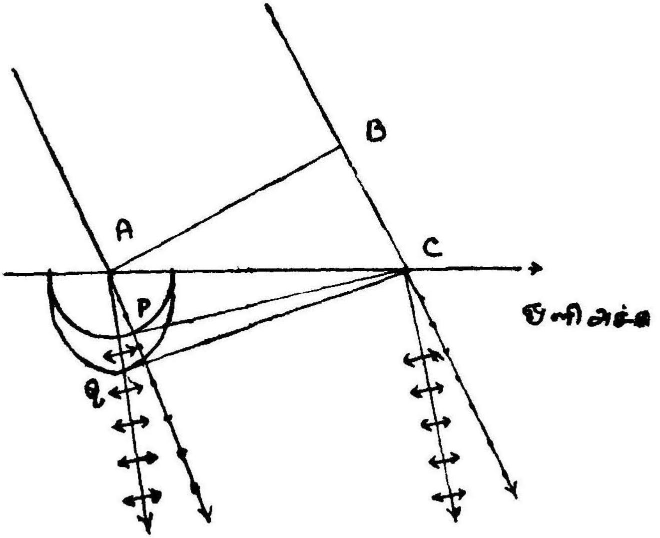



படம் 12·11

PR சாதாரணக் கதிரின் அலைமுகப்பு. இது கோள அலைமுகப்புகளின் தொடுதளமாக இருக்கும். QS அசாதாரணக் கதிரின் அலைமுகப்பாகும். இது நீள்வட்டத் திண்ம அலைமுகப்பின் தொடுதானமாக அமையும். இரு அலைமுகப்புகளும் இணையாக இருக்கும். இரு கதிர்களும் வெவ்வேறு திசைகளில் பரவும்.

2. ஒளி அச்சு, படுதளத்திலும் படிகப் பரப்பிற்கு இணையாகவும் இருக்கும்பொழுது படிகத்தினுள் ஏற்படும் அலைமுகப்பு :

(அ) அலைமுகப்பு படிகப் பரப்பில் சாய்வாக விழுந்தால், AB அலைமுகப்பு படிகத்தளத்தில் சாய்வாக விழுவதாகக் கொள்வோம் (படம் 12·12).




படம் 12·12

ஒளி அச்சு படிகத்தளத்தில் படிகப் பரப்பிற்கு இணையாக இருக்கும். ஆகையால் A-யிலிருந்து பரவும் கோள அலைமுகப்பும், நீள்வட்டத் திண்ம அலைமுகப்பும் MN கோட்டில் ஒன்றை ஒன்று தொடும்.

$$\frac{BC}{V_a} = \frac{AP}{Vo} = \frac{AQ}{Ve}$$

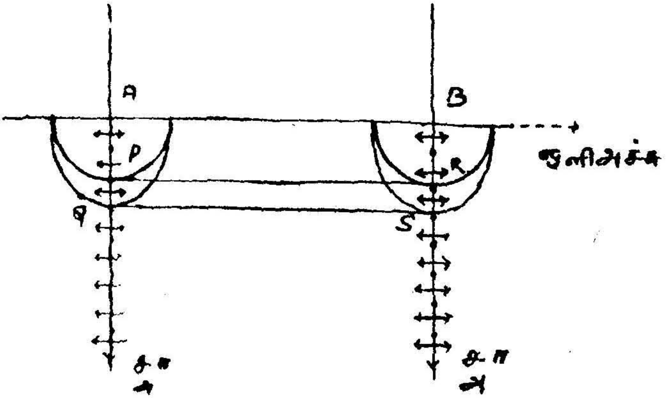
ஆகையால், $AP = \dfrac{BC}{\mu_o}$

$$AQ = \frac{BC}{\mu_e}$$

AQ திசையில் அசாதாரணக் கதிரின் ஒளி விலகெண்ணாகும். $\mu_e$ அசாதாரணக் கதிரின் முதன்மை விலகெண்ணாறுல் நீள்வட்டத் திண்மத்தின் அரைப்பெரும அச்சு $\frac{BC}{\mu_e}$ ஆகும்.

(ஆ) அலைமுகப்பு படிகப்பரப்பில் நேர்குத்தாக விழுதல் :

ஒளி அச்சு படுதளத்தில் படிகப் பரப்பு MN-க்கு இணையாக இருக்கும். AB படு அலைமுகப்பு படிகப் பரப்பில் நேர்குத்தாக விழுவதாகக் கொள்வோம் (படம் 12·13).



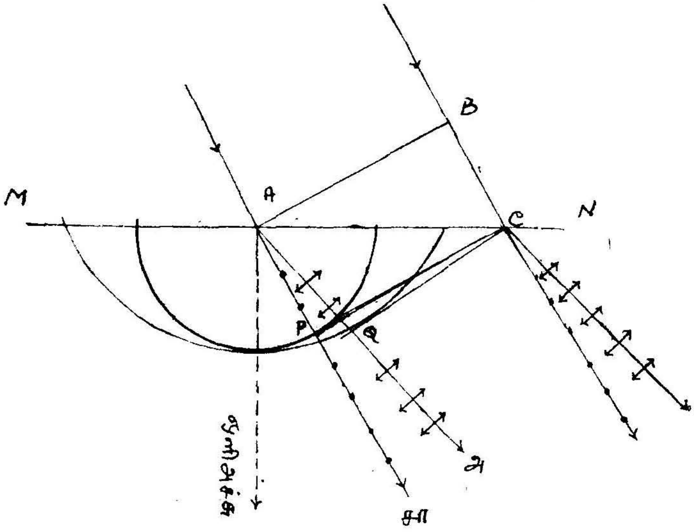

படம் 12·13

ஒளி அச்சு, படிகப் பரப்பிற்கு இணையாக இருப்பதால் படிகப் பரப்பில் சாதாரண அலை முகப்பும் அசாதாரண அலைமுகப்பும் ஒன்றை ஒன்று தொடும். PR சாதாரணக் கதிரின் ஒளிவிலகல் அலைமுகப்பையும் QS அசாதாரணக் கதிரின் ஒளிவிலகல் அலைமுகப்பையும் குறிக்கும். ஆகையால், சாதாரணக் கதிரும் அசாதாரணக் கதிரும் ஒரே திசையில் செல்லும். ஆனால், அசாதாரணக் கதிர், சாதாரணக் கதிரைவிடக் கூடுதல் வேகத்தில் பரவும்.

இந்த முறையில் சாதாரணக் கதிரும் அசாதாரணக் கதிரும் ஒரே திசையில் வெவ்வேறு வேகங்களில் செல்வதால், இரு கதிர்களுக்கு மிடையில் பாதை வேறுபாடு ஏற்படுகிறது இதனைப் பயன் படுத்தி, அரை அலைத் தட்டு (half wave plate) கால் அலைத்தட்டு (buarter wave plate) முதலியவை அமைக்கப்படுகின்றன.

3. ஒளி அச்சு படுதளத்திலும் படிகப் பரப்பிற்கு நேர்குத்தாக வும் இருக்கும்பொழுது படிகத்தினுள் ஏற்படும் அலைமுகப்பு.

(அ) அலை முகப்பு படிகப்பரப்பில் சாய்வாக விழுதல் :

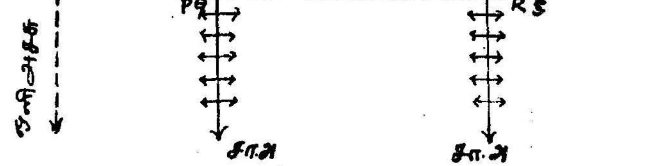


படம் 12·14

ஒளி அச்சு படிகப் பரப்பிற்கு நேர்குத்துத் திசையிலிருந்தால், இரு அலைமுகப்புகளும் நேர்குத்துத் திசையில் ஒன்றை ஒன்று தொடும்.

$$AP = \frac{BC}{\mu_o} \text{ என்றும் } AQ = \frac{BC}{\mu_e} \text{ என்றுமாகும்.}$$

$\mu_e$, AQ திசையில் அசாதாரணக் கதிரின் ஒளிவிலகெண் ஆகும். படத்திலிருந்து (படம் 12·14) சாதாரணக் கதிரும் அசாதாரணக்



படம் 12·15

கதிரும் வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு திசை வேகங்களில் செல்லுகின்றன.

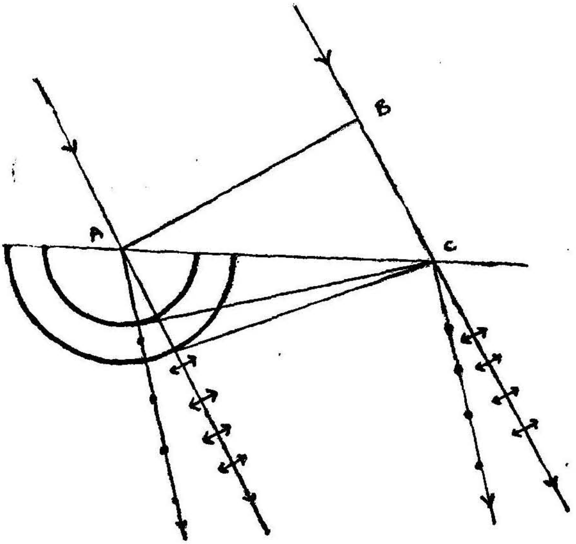
(ஆ) அலைமுகப்பு, படிகப்பரப்பில் நேர்குத்தாக விழுதல் :

MN படிகப் பரப்பில் AB என்ற அலைமுகப்பு விழுவதாகக் கொள்வோம் (12·15). ஒளி அச்சு படுதளத்தில் படிகப் பரப்பிற்கு நேர்குத்தாக இருப்பதாகக் கொள்வோம். ஆகையால் A-ல் தோன்றும் இரு அலை முகப்புகளும் P-ல் ஒன்றையொன்று தொடும். இந்த நிலையில் சாதாரணக் கதிரும் அசாதாரணக் கதிரும் பிரிவதில்லை. இரு கதிர்களும் ஒரே திசையில் ஒரே வேகத்தில் செல்லும்.

4. ஒளி அச்சு படுதளத்திற்கு நேர்குத்தாகவும், படிகப் பரப்பிற்கு இணையாகவும் இருந்தால் படிகத்தினில் ஏற்படும் அலைமுகப்பு.

(அ) அலைமுகப்பு, படிகப்பரப்பில் சாய்வாக விழுதல் :

AB-என்ற அலைமுகப்பு MN என்ற படிகப்பரப்பில் சாய்வாக விழுவதாகக் கொள்வோம் (படம் (12·16). ஒளி அச்சு படுதளத்திற்கு நேர்குத்தாக இருக்கின்றது. ஒளி அச்சுத் திசையில்தான் இரு அலைமுகப்புகளும் ஒன்றை ஒன்று தொடும். படுதளம் (தாள் தளம்) ஒளி அச்சுத் திசைக்குக் குறுக்கு வெட்டாக அமைவதால் இரு அலைமுகப்புகளும், தாள் தளத்தில் வட்டங்களாக இருக்கும்.




படம் 12 16.

படு அலைமுகப்பின் B-முனை C-ஐ அடைகின்ற நேரத்தில் A-ல் தோன்றும் சாதாரண அலை P-ஐயும் அசாதாரண அலை Q-ஐயும் அடையும்.

ஆகையால்,

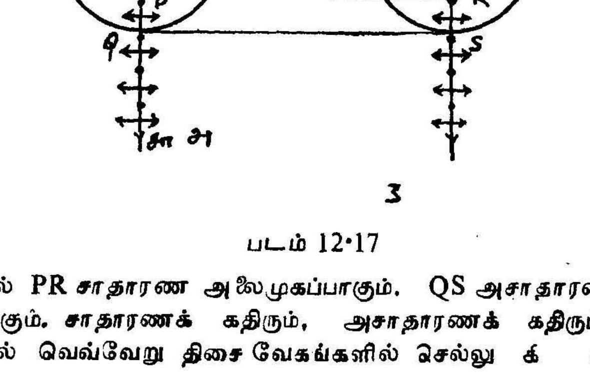
$$\frac{BC}{V_a} = \frac{AP}{V_o} = \frac{AQ}{Ve}$$

$$AP = \frac{BC}{\mu_o} \text{ மற்றும் } AQ = \frac{BC}{\mu_e} \text{ என்றுகும்.}$$

ஆகையால் சாதாரண அலைமுகப்பு $\frac{BC}{\mu_o}$ என்றும் அசாதாரண அலை முகப்பு $\frac{BC}{\mu_e}$ என்றுமாகும். இந்த ஓர் அமைப்பில்தான் படுதளத்தில் அசாதாரணக் கதிரின் திசைவேகம் எல்லாத் திசைகளிலும் சமமாக விருக்கும். சாதாரணக் கதிரும், அசாதாரணக் கதிரும் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு திசை வேகங் களில் செல்லும். மேலும் அசாதாரணக் கதிர் படுதளத்தில் எல் லாத் திசைகளிலும் ஒரே திசைவேகம் கொண்டிருக்கும். ஆகை யால், இரு கதிர்களும் படுதளத்தில் செல்லும்பொழுது, இரு ஒளி விலகல் விதிகளுக்கும் ஏற்ப அமையும்.

(ஆ) அலைமுகப்பு, படுதளத்தில் நேர்குத்தாக விழுதல்:

இந்த அமைப்பில் சாதாரண அலைமுகப்பின் ஆரம் $V_o t$ என்றும் அசாதாரண அலை முகப்பின் ஆரம் Ve $t$ என்றுமிருக்கும். '$t$' அலை முகப்புப் படிகப் பரப்பில் விழுந்ததிலிருந்து நிகழும் கால அளவா கும் (படம் 12·17).




படம் 12·17

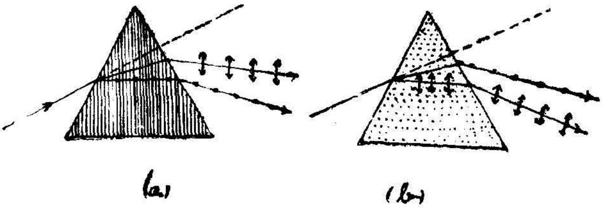
படத்தில் PR சாதாரண அலைமுகப்பாகும். QS அசாதாரண அலை முகப்பாகும். சாதாரணக் கதிரும், அசாதாரணக் கதிரும் ஒரே திசையில் வெவ்வேறு திசை வேகங்களில் செல்லு க் ; ெ

அமைப்பிலும் இரு கதிர்களும் ஒளிவிலகல் விதிகளுக்கு ஏற்ப விருக்கும்.

இதேபோல் நேர்படிகங்களிலும் ஹைஜயனின் அமைப்பு முறையால் படிகங்களிலேற்படும் அலைமுகப்புகளைக் காணமுடியும்.

12·16. இரட்டை ஒளி விலக்கத்தின் ஹைஜயனின் கொள்கையைச் சோதனை மூலம் நிருபித்தல் (Experimental verification of Huygen's theory of double refraction) : ஹைஜயன் கொள்கைப் படி இரட்டை விலக்கம் கொண்ட படிகங்களில் சாதாரணக் கதிர் எல்லாத் திசைகளிலும் ஒளி விலகல் விதிகளுக்கேற்பவிருக்கும். இதனைச் சோதிக்க ஒளி அச்சை வெவ்வேறு திசைகளிலிருக்குமாறு பல சிறு கால்ஸைட் முப்பட்டகங்களை ஒன்றின்மேலொன்றாக ஒருங்கிணைத்து ஒரு கூட்டு முப்பட்டகமாக்கவேண்டும். இந்த முப்பட்டகத்தைக் கொண்டு ஒரு நிறமாலை உண்டாக்கினால் எல்லா முப்பட்டகங்களினாலும் ஏற்படும் நிறமாலைகளும் ஒன்றின்மேல் ஒன்றாகத் தோன்றி ஒரு நிறமாலைபோல் தோன்றும். இதிலிருந்து சாதாரணக் கதிரின் ஒளிவிலகெண் படிகத்தில் அது செல்லும் திசைக்கேற்ப அமையாது என்பது தெளிவாகிறது.

12·17. அசாதாரணக் கதிரின் முதன்மை விலகெண்ணைக் காணல் : அசாதாரணக் கதிரின் முதன்மை ஒளிவிலகெண்ணைக் காண்பதற்கு, ஒரு கால்ஸைட் படிகத்தை முப்பட்டகமாக வெட்டிக் கொள்ளவேண்டும். இந்த முப்பட்டகத்தில் படிகத்தின் ஒளி அச்சு ஒளிவிலகல் முனைக்கும் அடிப்பாகத்திற்கும் நேர்குத்தாக இருக்குமாறு வெட்டப்படவேண்டும் (படம் 12·18 *a*.) அல்லது ஒளிவிலகல் முனைக்கு இணையாக ஒளி அச்சு இருக்குமாறு வெட்டப்பட வேண்டும் (படம் 12·18 *b*).



படம் 12·18

இந்த முப்பட்டகத்தை நிறமாலைமானி மேஜைமேல் சிறும திசை மாற்றுக் கோண நிலையில் வைத்து அசாதாரணக் கதிரின் சிறும திசைமாற்றுக் கோணம் $\delta m$-ஐ நிர்ணயிக்கவேண்டும். பின்னர் அசாதாரணக் கதிரின் முதன்மை ஒளிவிலகெண்,

$$\mu_e = \frac{\sin\frac{(A+\delta m)}{2}}{\sin A/2}$$

என்ற சமன்பாட்டால் பெறலாம்.

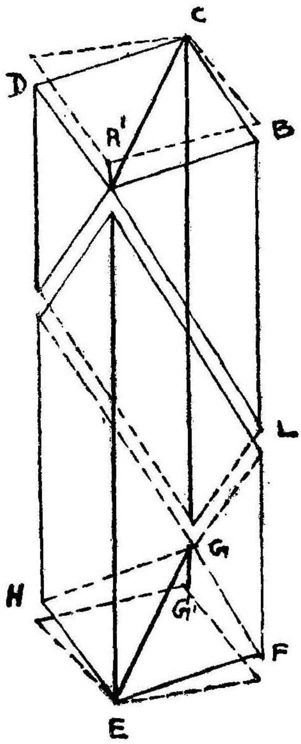
12·18. இரட்டை ஒளிவிலக்கமுள்ள படிகங்களைக் கொண்டு தள விளைவு ஏற்படுத்தல்: பொதுவாக இரட்டை ஒளிவிலக்கமுள்ள படிகங்களில் சாதாரணக் கதிரும், அசாதாரணக் கதிரும் தளவிளை வுற்றுள்ளன. ஆகையால் எளிதில் தளவிளைவு ஏற்படுத்த இத் தகைய படிகங்களைப் பயன்படுத்தலாம்.

(அ) டூர்மலின் தட்டு (Tourmaline plate): டூர்மலைன் என்பது இரட்டை விலக்கமேற்படுத்தும் ஒரு படிகம். ஆனால், இந்தப் படிகம் மிகக் குறைந்த கனமிருந்தால்கூட, சாதாரணக் கதிரை உட்கவர்ந்துவிடுகிறது. ஆகையால், ஒன்று அல்லது இரண்டு மி.மி. கனமுள்ள இந்தப் படிகத்தில் ஓர் ஒளிக்கற்றையை விழச் செய்தால் அசாதாரணக் கதிர்மட்டும் படிகத்தினின்று வெளி வரும். இந்த அசாதாரணக் கதிர் முழு தளவிளைவுற்றிருக்கும்.

(ஆ) நைக்கல் பட்டகம் (Nicol prism) ஒளியில் தளவிளைவு ஏற்படுத்துவதற்கும், ஏற்பட்ட தளவிளைவை அறிந்து கொள்வ தற்கும் பயன்படும், ஓர் ஒளியியல் முறை நைக்கல் பட்டகமாகும். ஒரு கால்ஸைட் படிகத்தின்வழி ஒளி செல்லும்பொழுது அது சாதா ரணக் கதிராகவும், அசாதாரணக் கதிராகவும் பிரிந்து செல்வதாகக் கண்டோம் மேலும் இவ் விரு கதிர்களும் இரு தளங்களில் தள விளைவுற்றுள்ளதாகவும் கண்டோம். இந்த இரு கதிர்களுள் சாதார ரணக் கதிரை முழு எதிரொளிப்புமூலம் விலக்கிவிடுகின்ற முறை யில் நைக்கல் பட்டகம் அமைந்துள்ளது.

தன் அகலத்தைப்போல் மூன்று பங்கு நீளம்கொண்ட ஒரு கால் ஸைட் படிகத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். இதன் அமைப்பு ஒரு சாய்சதுரத் திண்மமாகவிருக்கும் (Rhombohedron). படம் 12·19-ல் A′ BCDEFG′ H அத்தகைய ஒரு படிகத்தைக் குறிக்கிறது. A′, G′ இரு முனைகளிலும் எல்லாக் கோணங்களும் விரிகோணங்களாக இருக்கும். மேலும் A′ C G′ கோணம் 71° ஆக இருக்கும். A′ BCD, EFG′ H என்ற இரு பக்கங்களையும் தேய்த்து ACG என்ற கோணம் 68° ஆகுமாறு செய்யப்பட்டுள்ளது. படிகம் படத் தில் காட்டியவாறு AKGL என்ற தளத்தால் வெட்டப்பட்டுள்ளது. இந்தத் தளம் ABCD, EFGH பக்கங்களின் குட்டையான மூலை விட்டங்களுக்கு நேர்குத்தாகவிருக்கும். படிகத்தினுடைய

அமைப்பு முறையால் இந்தத் தளம் முதன்மை வெட்டிற்கும் நேர் குத்தாக அமையும். இந்த இரு வெட்டுப் பரப்புகளை ஒளியியல் சமதளமாக்கி இருபகுதிகளும் கனடா பால்சத்தைக் (canada balsam) கொண்டு ஒட்டப்பட்டுள்ளன. இந்த கனடா பால்சத்தின் ஒளிவிலகெண் சாதாரண, அசாதாரணக் கதிர்களின் விலகெண்களுக் கிடைப்பட்டதாகும்.



படம் 12·1 9

கால்ஸைட்டுக்கு

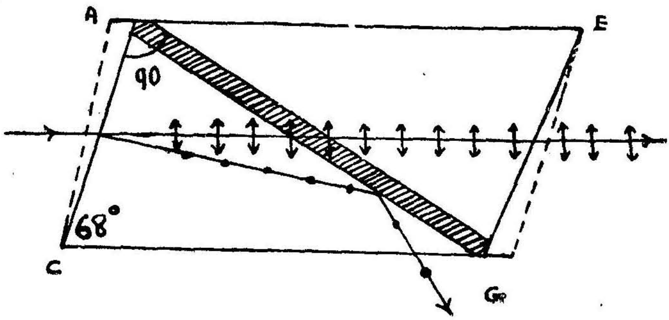
சாதாரணக் கதிரின் விலகெண் 1·658

அசாதாரணக் கதிரின் விலகெண் 1·486

கனடா பால்சத்தின் விலகெண் 1·55

படம் 12·20-ல் படிகத்தின் ACGE வெட்டுப் பகுதி காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் மூலை விட்டம் கனடா பால்சப் பரப்பைக் காட்டும்.

சாதாரணக் கதிருக்கு கனடா பால்சம் அடர்குறை ஊடகமாகிறது; அசாதாரணக் கதிருக்கு அடர்மிகு ஊடகமாகப் பண்படுகிறது. ஆகை யால் ஒரு சாதாரணக் கதிர் படிகத்தி லிருந்து கனடா பால்சப் பகுதியில் புகும்பொழுது அது அடர்மிகு ஊட



படம் 12·20

கத்திலிருந்து அடர்குறை ஊடகத்திற்குச் செல்கிறது. அதன் படு கோணம் மாறுநிலைக் கோணத்தைவிடக் கூடுதலாக இருந்தால்

முழு அக எதிரொளிப்பு ஏற்படும். ஓர் ஒளிக்கதிர் நைக்கல் பட்டகத்தில் நீண்ட பக்கத்திற்கு, இணையாகப் படிகத்தில் விழுந்தால் அது படிகத்தில் சாதாரண-அசாதாரணக் கதிர்களாகப் பிரியும். படிகத்தின் பரிமாணத்தாலும் அதன் அமைப்பு முறையாலும் சாதாரணக் கதிர் கனடா பால்சத்தில் விழும் படுகோணம் அதன் மாறுநிலைக் கோணத்தைவிடக் கூடுதலாக இருக்கும். ஆகையால், சாதாரணக் கதிர் முழு அக எதிரொளிப்புக்கு உட்பட்டுப் பட்டகத்தின் பக்கத்தின்வழியாக வெளிவருகிறது. பக்கங்கள் கருமை நிறம் பூசப்பட்டிருந்தால் இந்தக் கதிர் உட்கவரப்படும்.

ஆனால், அசாதாரணக் கதிர் படிகத்திலிருந்து கனடா பால்சத்திற்குச் செல்லும்பொழுது அடர்குறை ஊடகத்திலிருந்து அடர்மிகு ஊடகத்திற்குச் செல்கிறது. ஆகையால், அது கடந்து சென்று விடும். அசாதாரணக் கதிர் முதன்மைத் தளத்திற்கு நேர்குத்தான தளத்தில் தளவிளைவுற்றிருக்கும். இந்தக் கதிரின் அதிர்வுகள் EFGH பக்கத்தின் குட்டையானகுறுக்குவிட்டத்திற்கு இணையாகவிருக்கும்.

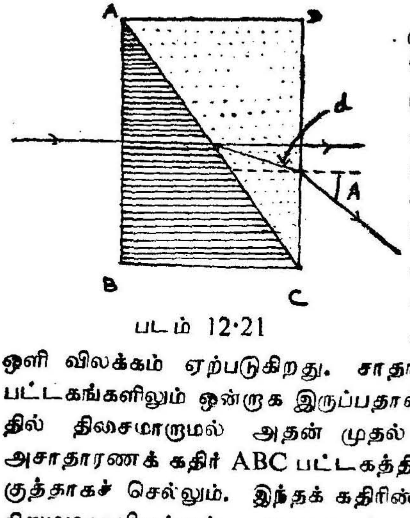
ஆகவே, நைக்கல் பட்டகத்தில் அதன் நீண்ட பக்கங்களுக்கு இணையான ஒளிக்கற்றை அதன் ஒரு முனைப் பக்கத்தில் விழுந்தால் மறுமுனைப்பக்கத்தின்வழியாகத் தளவிளைவுற்ற அசாதாரணக் கதிர் வெளிவரும்.

நைக்கல் பட்டகத்தை ஒளியைத் தளவிளைவுறச் செய்வதற்கும் தளவிளைவுற்ற ஒளியை ஆராய்வதற்கும் பயன்படுத்தலாம்.

(இ) போலராய்ட் (Polaroid): டூர்மலைன் படிகத்தில் தளவிளைவு ஏற்படுகிறது. ஆனால், இப் படிகம் நிறம் கொண்டதாக இருப்பதால், இதனைக்கொண்டு வெள்ளைநிற ஒளியைத் தளவிளைவுறச் செய்ய இயலாது. ஆனால், போலராய்டில் இந்தக் குறை நீக்கப்பட்டுள்ளது. போலராய்ட், பர்அயடைட் ஆப் குவினைன் சல்பேட் (Per iodide of quinine sulphate) என்ற நுண்ணியலான படிகங்களினாலானது. இந்தப் படிகம் பெரிய அளவில் கிடைப்பதில்லை. சிறு சிறு நுண்ணிய படிகங்களாகத்தான் கிடைக்கும். இத்தகைய நுண்ணிய படிகங்களை நைட்ரோ செல்லுலோஸ் என்ற இரசாயனப் பொருளில் மிதக்கவிட்டு அதனை ஒரு சிறு பிளவின் வழியாகப் புகச் செய்தால் சிறு பிளவின் வழியாக வெளிவரும் மென் படலத்தில் எல்லா நுண்ணியல் படிகங்களின் ஒளி அச்சுகளும் இணையாக இருக்கும். இத்தகைய மென்படலத்தை இரு மெல்லிய கண்ணாடித் துண்டுகளினிடையில் பொருத்தி போலராய்ட் உண்டாக்கப்படுகிறது. இத்தகைய போலராய்டுகளின்வழி ஒளி செல்லும்பொழுது இரட்டை விலக்கம் ஏற்பட்டு சாதாரணக் கதிர்கள் உட்கவரப்பட்டு, அசாதாரணக் கதிர்கள் தளவிளைவுற்று வெளிவருகின்றன.

(ஈ) இரட்டைப் பிம்ப முப்பட்டகம் (Double image prism): இரட்டைப் பிம்ப முப்பட்டகங்கள், இரட்டை ஒளி விலக்கமுள்ள படிகங்களால் ஆக்கப்பட்டுள்ளன. இந்தப் பட்டகங்களின்வழி ஒளி ஊடுருவும்பொழுது இரு கதிர்களாகப் பிரிகின்றது. ஆனால் இந்த இரு கதிர்களும் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று அதிக அளவில் பிரிந்து செல்லு மாறு முப்பட்டகங்கள் அமைக்கப்பட்டிருக்கும்.

(1) ரோச்சன் முப்பட்டகம் (Rochon prism): இது கால்ஸைட் அல்லது குவார்ட்ஸ் படிகத்தாலான இரு நேர்கோண முப்பட்ட கங்களைக் கொண்டது. இரு முப்பட்டகங்களும் சம கோணங்களைக் கொண்டவைகளாகும். இதில் ஒரு முப்பட்டகம் அதன் ஒளிவிலகல் முனை ஒளிஅச்சுக்குஇணையாகஇருக்குமாறும், மற்றொரு முப்பட்டகம் அதன் ஒளிவிலகல் முனை ஒளி அச்சுக்கு நேர்குத்தாக இருக்கு மாறும் வெட்டப்பட்டுள்ளன. இந்த இரு பட்டகங்களும், அதன் நேர்கோணத்திற்கு எதிர்ப்பக்கங்கள் ஒன்றுடன் ஒன்று பொருந்து மாறும் அவைகளின் ஒளி விலகல் முனைகள் எதிரெதிராக இருக்கு மாறும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன (படம் 12·21).



படம் 12·21

ஓர் ஒளிக்கதிர் ABC என்ற முப்பட்டகத்தில் AB பக்கத்தில் நேர்குத்தாக விழுந்தால் ABC முப்பட்டகத்தில் திசைமாறுமல் அதே திசையில் செல்லும். இந்த முப்பட்டகத்தில் ஒளி அச்சுக்கு இணையாக ஒளிக்கதிர் செல்வதால் சாதாரணக் கதிரும் அசாதாரணக்கதிரும் பிரியாமல் அதே திசையில் செல்லும். ஆனால் AC முகப்பில் இரட்டை ஒளி விலக்கம் ஏற்படுகிறது. சாதாரணக் கதிரின் விலகெண் இரு பட்டகங்களிலும் ஒன்றுக இருப்பதால் அந்தக் கதிர் ADC பட்டகத் தில் திசைமாறுமல் அதன் முதல் திசையில் செல்லும். ஆனால் அசாதாரணக் கதிர் ABC பட்டகத்தில் ஒளி அச்சுத் திசைக்கு நேர் குத்தாகச் செல்லும். இந்தக் கதிரின் விலகெண் ADC பட்டகத்தில் சிறுமமாகவிருக்கும். ஆகையால், அசாதாரணக் கதிருக்கு ADC பட்டகம் அடர்குறை ஊடகமாகும். ஆகையால், அது தன்னுடைய முதல் பாதையிலிருந்து விலகிச் செல்லும்.

முப்பட்டகங்களின் ஒளிவிலக்குக் கோணம் A என்றும் இரு முப்பட்டகங்களின் பிரிப்பு பரப்பில் அசாதாரணக் கதிரின் திசை மாற்றுக் கோணம் $d$ என்றும் கொள்வோம். AC பரப்பில் அசா தாரணக் கதிரின் படுகோணம் A என்றும், ஒளிவிலகல் கோணம் $(A + d)$ என்றுமாகும். முதல் பட்டகத்தில் அசாதாரணக் கதிரின்

விலகெண் சாதாரணக் கதிரின் விலகெண்ணிற்குச் சமமாக இருக்கும். ஆகையால்,

$$\mu_o \sin A = \mu_e \sin (A + d)$$

அல்லது $$\frac{\sin (A + d)}{\sin A} = \frac{\mu_o}{\mu_e}$$

$$\frac{\sin A \cos d + \cos A \sin d}{\sin A} = \frac{\mu_o}{\mu_e}$$

$$\cos d + \sin d \cot A = \frac{\mu_o}{\mu_e}$$

$d$ குறைவாக இருந்தால்,

$$1 + d \cot A = \frac{\mu_o}{\mu_e}$$

அல்லது $$d = \frac{\mu_o - \mu_e}{\mu_e} \tan A$$ என்றாகும்.

மேலும், ADC பட்டகத்தின் DC பக்கத்தில் அசாதாரணக் கதிர் $d$ படுகோணத்தில் விழும். அதன் விடுகோணம் $r$ என்று கொண்டால்,

$$\frac{\sin d}{\sin r} = \frac{1}{\mu_e}$$

அல்லது $$\frac{\sin r}{\sin d} = \mu_e$$

$$\sin r = \mu_e \sin d = \mu_e d$$

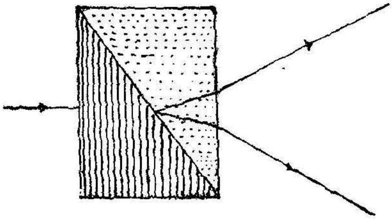
$$= \mu_e \left[\frac{\mu_o - \mu_e}{\mu_e}\right] \tan A = (\mu_o - \mu_e) \tan A$$

கோணம் $r$ இரு கதிர்களுக்குமிடையிலேற்படும் கோணப் பிரிவாகும்.

2. ஒல்லஸ்டன் முப்பட்டகம் (Wollaston prism): இதுவும் ரோச்சன் முப்பட்ட கத்தைப்போல், இரு நேர்கோண முப்பட்டகங்களாலானது. ஆனால், ஒளி அச்சு இரு பட்டகங்களிலும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தான தளங்களிலிருக்கும் (படம் 12·22). PQ என்ற கதிர் ABC முப்பட்டகத்தில் AB பக்கத்தில் நேர்குத்தாக விழும்பொழுது, அது சாதாரணக் கதிராகவும் அசாதாரணக் கதிராகவும் பிரிகிறது. ஆனால், அவை ஒளி அச்சுக்கு அதே நேர்குத்துத் திசையில் செல்வதால், திசையில் வெவ்வேறு வேகங்களில் செல்லும்.

சாதாரணக் கதிரின் அதிர்வுகள் ABC பட்டகத்தில் தாள்தளத்திற்கு நேர்குத்தாகவிருக்கும். ஆனால், அசாதாரணக் கதிரின் அதிர்வுகள் தாள்தளத்திலிருக்கும். சாதாரணக் கதிர் AC பரப்பை

அடைந்ததும், ADC பட்டகத்தில் செல்லத் தொடங்கும். இதன் அதிர்வுகள் தாள்தளத்திற்கு நேர்குத்தாக இருக்கும். ஆனால், இது அந்தப் பட்டகத்தில் ஒளி அச்சுத் திசையாகும். ஆகையால், இந்தக் கதிரின் அதிர்வுகள் ADC பட்டகத்தில் முதன்மைத் தளத்திலிருக்கும். ஆகையால், இந்தக் கதிர் ADC பட்டகத்தில் அசாதாரணக் கதிராகும். இதே போன்ற காரணங்களால் ABC-ன் அசாதாரணக் கதிர் ADC-ல் சாதாரணக் கதிராகும். ஆகையால், சாதாரணக் கதிருக்கு ADC பட்டகம் அடர்மிகு ஊடகமாகவும், அசாதாரணக் கதிருக்கு அடர்குறை ஊடகமாகவும் ஆகும். ஆகையால், முதல் கதிர் ADC பட்டகத்தின் விளிம்பை நோக்கியும், இரண்டாவது கதிர் அதன் அடிப்பாகத்தை நோக்கியும் பிரிந்து செல்லும் (படம் 12·22). அல்லது இரு கதிர்களுக்கு இடையிலுள்ள கோணம் அதிகரித்து, ரோச்சன் பட்டகத்திலேற்படும் கோணத்தைப்போல் இரு மடங்கு ஆகும்.



படம் 12·22

12·19. சமதள தளவிளைவு ஒளியின் பகுப்பாய்வு (Analysis of plane polarised light): ஒரு நைக்கல் பட்டகத்தைப் பகுப்பானாகவும் பயன்படுத்தி ஒளி தளவிளைவுற்றுள்ளதா என்று காணலாம். நைக்கலில் விழும் தளவிளைவுற்ற ஒளியின் தளவிளைவுத் தளம் நைக்கலின் முதன்மைத் தளத்திற்கு இணையாக இருந்தால், தளவிளைவுற்ற ஒளி, நைக்கலில் சாதாரணக் கதிராகச் செல்லுகிறது ஆகையால், அது கனடா பால்சம் பரப்பில் முழு உள் எதிரொளிப்பிற்கு ஆட்படுகிறது. ஆகையால், நைக்கலிலிருந்து ஒளி வெளிவருவதில்லை. இப்பொழுது நைக்கலைச் சுழற்றினால் ஒளிக்கதிர் வெளிவரத் தொடங்குகிறது. நைக்கலின் முதன்மைத்தளம் விழும் ஒளியின் தளவிளைவுத் தளத்திற்கு நேர்குத்தாகும்பொழுது வெளிவரும் ஒளியின் செறிவு பெருமமாகும். மேலும், $90^\circ$ சுழற்றினால் ஒளிச்செறிவு சுழியாகும். இத்தகைய மாற்றங்கள் நைக்கலில் விழும் ஒளி தளவிளைவுற்ற ஒளியாகும்பொழுதுதான் நிகழும்.

12·20. கால் அலைத்தட்டு மற்றும் அரை அலைத்தட்டு (Quarter wave plate and half wave plate): ஒரு படிகத் தட்டு அதன்வழி ஒளி செல்லும் பொழுது சாதாரணக் கதிருக்கும், அசாதாரணக் கதிருக்கும் இடையில் $\frac{\pi}{2}$ கட்ட வேறுபாட்டைத் (அல்லது $\frac{\lambda}{4}$ பாதை

வேறுபாட்டை) தோற்றுவித்தால், அந்தத் தட்டு கால் அலைத்தட்டு எனப்படும்.

ஓர் ஒளி அச்சு மேற்பரப்பிற்கு இணையாக உள்ள ஒரு கால்சைட் அல்லது குவார்ட்ஸ் தட்டில் ஒளிக்கதிர் நேர்குத்தாக விழும் பொழுது அந்தக் கதிரின் சாதாரண அசாதாரணக் கதிர்களிரண்டும் ஒரே திசையில் வெவ்வேறு திசை வேகங்களில் செல்லும் இந்த இரு கதிர்களும் படிகத்தட்டிலிருந்து வெளிவரும்பொழுது அந்த இரு கதிர்களுக்குமிடையில் பாதை வேறுபடும். அதனுல் கட்ட வேறுபாடும் ஏற்படும்.

அந்தப் படிகத் தட்டின் கனம் $t$ என்றும் சாதாரண, அசாதாரணக் கதிர்களின் விலகெண்கள் முறையே $\mu_o$, $\mu_e$ என்றும் கொண்டால் இரு கதிர்களுக்கிடையில் தோன்றும் பாதை வேறுபாடு,

$$\delta = t(\mu_o - \mu_e) \text{ என்றாகும்.}$$

ஒளியின் அலைநீளம் $\lambda$ ஆனுல், படிகத்தட்டு கால் அலைத் தட்டாகச் செயல்பட,

$$\delta = \frac{\lambda}{4} = t(\mu_o - \mu_e) \text{ என்றாக வேண்டும் அல்லது,}$$

$$t = \frac{\lambda}{4(\mu_o - \mu_e)}$$

ஆனுல், நேர்ப் படிகங்களில் $\mu_e > \mu_o$ ஆகும். ஆகையால் கால் அலைத்தட்டின் கனம்,

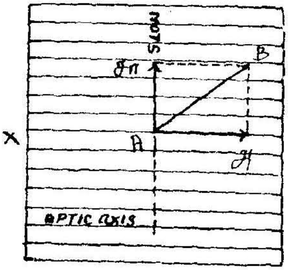
$$t = \frac{\lambda}{4(\mu_e - \mu_o)} \text{ என்றாகும்.}$$

இத்தகைய தட்டு அரை அலைத் தட்டாவதற்கு

$$t = \frac{\lambda}{2(\mu_o - \mu_e)} \text{ என்றாகும்.}$$

12·21. வட்டத் தள ஒளி மற்றும் நீள்வட்டத் தள ஒளி (Circularly polarised light and elliptically polarised light): சமதள தள ஒளியில் துகள்களின் அதிர்வுகள் ஒளி செல்லுகின்ற திசைக்கு நேர்குத்தாக ஒரு நேர்கோட்டிலிருக்கும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்துத் திசையில் அதிர்வுகொண்டிருக்கும். இரு ஒளிக்கதிர்களைச் சில குறிப்பிட்ட கட்ட வேறுபாடுகளில் ஒருங்கிணையச் செய்தால் அந்த ஒளிக் கதிர்களில் அதிர்வுகள் வட்டப்பாதையிலோ நீள் வட்டப்பாதையிலோ விருக்கும். வட்ட அதிர்வு கொண்ட ஒளி வட்டத் தள ஒளி என்றும் நீள்வட்ட அதிர்வு கொண்ட ஒளி நீள் வட்ட தள ஒளி என்றும் கூறப்படும்.

**12·22. பகுப்பாய்வு முறை : (Analytical treatment) :** ஒளி அச்சுக்கு இணையான பக்கங்களைக் கொண்ட ஓர் ஓரச்சுப் படிகத்தில் சமதளதள ஒளி நேர்குத்தாக விழுவதாகக் கொள்வோம். சமதளதள ஒளியின் அதிர்வுகள் ஒளி அச்சுத் திசைக்குச் சிறிது சாய்வாக இருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்த அதிர்வுகளை ஒளி அச்சுக்கிணையாகவும் ஒளி அச்சுக்கு நேர்குத்தாகவும் பகுக்கலாம் (படம் 12.23). ஒளி அச்சுக்கு இணையாக அதிர்வு கொண்ட பகுதி அசாதாரணக் கதிராகவும், நேர்குத்துத் திசையில் அதிர்வுகொண்ட பகுதி சாதாரணக் கதிராகவும் ஆகும். ஒளி, படிகத் தட்டினில் நேர்குத்தாக விழுவதால் சாதாரணக் கதிரும் அசாதாரணக் கதிரும் ஒரே திசையில் வெவ்வேறு திசை வேகங்களில் செல்லும் (படம் 12·23).




படம் 12·23

ஆகையால், சாதாரணக் கதிருக்கான அலையின் நீளம் $\lambda_o = \frac{\lambda}{\mu_o}$, அசாதாரணக் கதிருக்கான அலையின் நீளம் $\lambda_E = \frac{\lambda}{\mu_E}$ ஆனால் $\mu_e < \mu_o$ ($\lambda$ = வெற்றிடத்தில் ஒளியின் அலைநீளம்), ஆகையால் $\lambda_E > \lambda_o$ இந்த அலைநீள வேறுபாட்டால் சாதாரண அலை பின் தங்கிவிடும். ஆகையால் படிகத்தட்டிலிருந்து இரு அலைகளும் வெளிவரும்பொழுது, அந்தப் படிகத்தட்டின் கனத்திற்கு ஏற்ப ஒன்றுக்கொன்று $\delta$ கட்ட வேறுபாடு கொண்டிருக்கும். படிகத் தட்டில் விழும் ஒளி அலையின் அலைவீச்சு '$a$' என்று கொண்டால், ஒளி அச்சுத்திசையில் அலைவீச்சு $a \cos \theta$ என்றும் ஒளி அச்சுக்கு நேர்குத்துத் திசையில் அலைவீச்சு $a \sin \theta$ என்றுமாகும். $\theta$, படு ஒளியின் அலைவுத் தளத்திற்கும் படிகத்தட்டின் முதன்மைத் தளத்திற்குமிடையிலுள்ள கோணம். இந்த இரு கதிரின் அலைகளும் படிகத் தட்டிலிருந்து வெளிவரும்பொழுது கொண்டிருக்கும் அதிர்வுகளை முறையே

$$x = b \cos wt$$
$$y = c \cos (wt + \delta)$$

என்றும் கொள்ளலாம்.

$b = a \cos \theta$ மற்றும் $c = a \sin \theta$ ஆகும். $\delta$ படிகத்தட்டினால் ஏற்பட்ட கட்டவேறுபாடு. இந்த இரு அதிர்வுகளும் ஒருங்கிணைவதால் ஏற்படும் தொகுபயன் அதிர்வைப் படிகத் தட்டிலிருந்து வெளிவரும் ஒளி பெற்றிருக்கும்.

$$\frac{x}{b} = \cos wt$$

$$\sin wt = \sqrt{1-\cos^2 wt} = \sqrt{1 - \frac{x^2}{b^2}}$$

$$\frac{y}{c} = \cos (wt+\delta)$$

$$= \cos wt \cos \delta - \sin wt \sin \delta$$

$$= \frac{x}{b}\cos \delta - \sqrt{1 - \frac{x^2}{b^2}} \sin \delta$$

$$\frac{y}{c} - \frac{x}{b} \cos \delta = - \sin \delta \sqrt{1 - \frac{x^2}{b^2}}$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டினை இருபடியாக்கினல்,

$$\frac{y^2}{c^2} + \frac{x^2}{b^2} \cos^2 \delta - \frac{2xy}{cb} \cos \delta = \sin^2 \delta \left(1-\frac{x^2}{b^2}\right)$$

$$\frac{y^2}{c^2} + \frac{x^2}{b^2}(\cos^2 \delta+\sin \delta) - \frac{2xy}{cb} \cos \delta = \sin^2 \delta$$

அல்லது $\frac{y^2}{c^2} + \frac{x^2}{b^2} - \frac{2xy}{cb} \cos \delta = \sin^2 \delta$ என்ருகும்.

இந்தச் சமன்பாடு பொதுவாக, ஒரு வட்டக் குடும்பத்தைக் (conic) குறிக்கும். ஆனல், சரியான அதிர்வு முறை $\delta$-வின் மதிப்பைப் பொறுத்து அமையும்.

1. $\delta = 0$ ஆனல் அல்லது படிகத்தட்டினல் இரு கதிர்களுக்கிடையிலும் கட்ட வேறுபாடு ஏற்படாமலிருந்தால்,

$$\frac{y^2}{c^2} + \frac{x^2}{b^2} - \frac{2xy}{bc} = 0 \text{ என்ருகும்.}$$

அல்லது $$\left(\frac{y}{c} - \frac{x}{b}\right)^2 = 0$$

அல்லது $$\frac{y}{c} = \frac{x}{b}$$

$$y = \frac{c}{b} x \text{ என்ருகும்.}$$

ஏற்படும் அலைவு நேர்கோட்டிலிருக்கும்.

(2) $\delta = \frac{\pi}{2}$ ஆனல்

$$\frac{y^2}{c^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1 \text{ ஆகும்.}$$

இந்தச் சமன்பாடு ஒரு நீள்வட்டத்தைக் குறிக்கும்.

(3) மேலும், $\delta = \frac{\pi}{2}$ ஆகவும் $b=c$ ஆகவுமிருந்தால்,

$$\frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{c^2} = 1$$

அல்லது $x^2 + y^2 = b^2$. இந்தச் சமன்பாடு ஒரு வட்டத்தைக் குறிக்கும். $b = c$ ஆகப் படிகத்தட்டில் படு ஒளியின் அலைவீச்சு படிகத்தட்டில் இரு தளங்களிலும் சமமாகப் பகுபடவேண்டும் இவ்வாறு சமமாகப் பிரிபட, படுதளத்திற்கும் படிகத்தின் முதன் மைத் தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள கோணம் 45° ஆக இருக்க வேண்டும்.

12·23. தோற்றுவிக்கும் முறை (Production): (1) நீள்வட்டத் தள ஒளி ஏற்பட ஒற்றைநிற ஒளியின் சமதள தள ஒளிக்கற்றையை ஒரு கால் அலைத்தட்டின்மேல் நேர்குத்தாக விழச் செய்ய வேண்டும். மேலும் சமதள தள ஒளியின் தளவிளைவுத் தளத்திற்கும் கால் அலைத்தட்டின் முதன்மைத் தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள கோணம் 0°, 90°, 45° நீங்கிய மற்றக் கோணங்களாக இருக்க வேண்டும். அப்பொழுது கால் அலைத் தட்டிலிருந்து வெளிவரும் ஒளி நீள்வட்டத் தள ஒளியாக இருக்கும்.

(2) வட்டத் தள ஒளி ஏற்பட சமதள ஒளியைக் கால் அலைத் தட்டில் நேர்க்குத்தாக விழச்செய்யவேண்டும். மேலும், சமதள தள ஒளியின் அதிர்வுத்தளம் கால் அலைத்தட்டின் முதன்மைத் தளத்திற்கு 45° கோணம் சாய்வாக விருக்குமாறும் விழச் செய்தால், கால் அலைத்தட்டிலிருந்து வெளிவரும் ஒளி வட்டத்தள ஒளியாக விருக்கும்.

12·24. பண்புகள் (Characteristic behaviour):

(1) வட்டத் தள ஒளி:

வட்டத் தள ஒளியை ஒரு நைக்கல் பட்டகத்தின்வழி பாயச் செய்தால், நைக்கலை அடைந்தவுடன் ஒளி இரு சமதள, தள ஒளிப் பகுதிகளாகப் பிரியும். இரு தள ஒளியின் அதிர்வு அலைவீச்சுகளும் சமமாகவும், $\frac{\pi}{2}$ கட்ட வேறுபாடும் கொண்டிருக்கும். இவற்றில் ஒரு தள ஒளி நைக்கலின் முதன்மைத் தளத்தில் தளவிளைவுற்றிக் கும். ஆகையால் அது சாதாரணக் கதிராகிறது. இதற்கு கனடா பால்சம் பரப்பில் எதிரொளிப்பு ஏற்படுகிறது. மற்றொரு தள ஒளி முதன்மைத் தளத்திற்கு நேர்குத்துத் தளத்தில் தளவிளைவுற்றுள்ளது. ஆகையால், இது அசாதாரணக் கதிராக நைக்கலின்வழிச் சென்று

வெளியேறுகிறது. ஆகையால் நைக்கலைச் சுழற்றினால் வெளிவரும் ஒளியின் ஒளிச் செறிவு ஒரே அளவிலிருக்கும். தளவிளைவுறுத ஒளியை நைக்கலின்வழி பாயச் செய்தாலும் வெளிவரும் ஒளியின் ஒளிச்செறிவு ஒரே அளவிலிருக்கும். ஆகையால், வட்டத்தள ஒளியும் தளவிளைவுறுத ஒளியும் ஒன்றுபோலத் தோன்றும்.

(2) நீள்வட்டத் தள ஒளி:

நீள்வட்டத் தள ஒளியை நைக்கல்வழி பாயச்செய்தால், இரு தள விளைவு ஒளியாகப் பிரிகிறது. இந்த இரு ஒளியின் அலைகளின் அலைவீச்சும் சமமாக இரா. இவற்றில் ஒன்று நைக்கலின் முதன்மைத் தளத்தில் தளவிளைவுற்றிருக்கும். மற்றொன்று முதன்மைத் தளத்திற்கு நேர்குத்துத் தளத்தில் தளவிளைவுற்றிருக்கும். நைக்கலைச் சுழற்றினால் வெளிவரும் ஒளிச்செறிவு பெருமமாகவும் சிறுமமாகவும் மாறும். நைக்கலின் முதன்மைத் தளம் நீள்வட்டத்தின் பெரிய அச்சுக் கிணையாகும்பொழுது வெளிவரும் ஒளியின் செறிவு பெருமமாக விருக்கும். நைக்கலின் முதன்மைத் தளம் சிறிய அச்சுக் கிணையாகும்பொழுது வெளிவரும் ஒளியின் செறிவு சிறுமமாக விருக்கும்.

இதேபோல் பகுதித் தள ஒளியை (partially polarised light) ஒரு நைக்கலின்வழியாகச்செலுத்தி நைக்கலைச் சுழலச் செய்து பார்த்தால் ஒளிச்செறிவு பெருமமாகவும் சிறுமமாகவும் மாறும். இந்த விதத்தில் நீள்வட்டத் தள ஒளியும் பகுதித் தள ஒளியும் ஒன்று போலத் தோன்றும்.

12.25. பகுக்கும் முறை (Analysis):

(1) வட்டத் தள ஒளி.

வட்டத்தள ஒளியை ஒரு கால் அலைத்தட்டில் நேர்குத்தாக விழச் செய்தால், இரு சம அலைவீச்சுகளையும் $\frac{\pi}{2}$ கட்ட வேறுபாட்டையும் கொண்ட சமதள தள ஒளிப் பகுதிகளாகப் பிரிகிறது. ஒரு பகுதி முதன்மைத் தளத்திலும் மறுபகுதி அதற்கு நேர்குத்துத் தளத்திலும் தளவிளைவுற்றிருக்கும். இரு பகுதிகளும் தட்டில் சாதாரண அசாதாரணக் கதிர்களாக வெவ்வேறு திசை வேகங்களில் பரவுகின்றன. கால் அலைத்தட்டிலிருந்து வெளிவரும்பொழுது கூடுதலாக $\frac{\pi}{2}$ கட்ட வேறுபாடு ஏற்படுகிறது. ஆகையால் இரு பகுதிகளுக்கிடையிலும் $\pi$ கூடுதல் கட்ட வேறுபாடு ஏற்படும். ஆகையால், இரு பகுதிகளும் ஒருங்கிணையும்பொழுது சமதள தள ஒளியாகிறது. இந்தச் சமதள தள ஒளியை நைக்கலின்

வழி செலுத்தி நைக்கலைச் சுழற்றினால் இரு நிலைகளில் ஒளி வெளி வருவது தடைபட்டுவிடும்.

மாறாக, தளவிளைவுறு ஒளியைக் கால் அலைத்தட்டின்வழி பாயச் செய்தால் தளவிளைவுறுத ஒளியாகத்தானிருக்கும். ஆகையால் நைக்கலின்வழி செலுத்தி நைக்கலைச் சுழலச்செய்தால் வெளிவரும் ஒளிச்செறிவில் மாற்றமிருக்காது.

(2) நீள்வட்டத் தளஒளி :

ஒரு கால் அலைத்தட்டில், அதன் முதன்மைத் தள அச்சு, நீள் வட்டத்தள ஒளியை, நீள்வட்டத்தின் பெரிய அல்லது சிறிய அச்சுக் கிணையாக இருக்குமாறு நேர்குத்தாக விழச்செய்தால், நீள்வட்ட ஒளி வெவ்வேறளவுள்ள அலைவீச்சுகளையும் $\frac{\pi}{2}$ கட்ட வேறுபாட்டையும்கொண்ட இரு சமதள தளஒளியாகப் பிரியும். ஒரு தள ஒளிப் பகுதி கால் அலைத்தட்டின் முதன்மைத் தளத்திலும் மற்றொன்று அதற்கு நேர்குத்துத் தளத்திலும் தளவிளைவுற்றிருக்கும். கால் அலைத்தட்டைக் கடந்தபின் இந்த இரு சமதள தள ஒளி களுக்கும் கூடுதலாக $\frac{\pi}{2}$ கட்ட வேறுபாடு ஏற்படும். ஆகையால், வெளிவரும் ஒளி சமதள ஒளியாகவிருக்கும். இதனை ஒரு நைக்கல் பட்டகத்தின்வழி பாயச்செய்து நைக்கலைச் சுழற்றும்பொழுது நைக்கலின் இரு நிலைகளிலும் ஒளிச் செறிவு சுழியாக இருப்பதால், அறிந்துகொள்ளலாம். மாறாகப் பகுதித்தள ஒளியைக் கால் அலைத் தட்டின்வழி பாயச் செய்த பின்பும் பகுதித்தள ஒளியாகத்தானிருக் கும். இந்த ஒளியை நைக்கலின்வழி பாயச் செய்து நைக்கலைச் சுழற்றினால் நைக்கலின் எந்த நிலையிலும் ஒளிச்செறிவு சுழியாக இருக்காது.

## ஒளியியல் வினை
## (Optical Activity)

12·25. தளவிளைவுத் தளச் சுழற்சி (Rotation of the plane polarisation) : இரு நைக்கல் பட்டகங்களை அவற்றின் முதன் மைத் தளங்கள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்குமாறு செய்து அவற்றின்வழி தளவிளைவுறுத ஒளியைப் பாயச்செய்தால், முதல் நைக்கல், ஒளியைச் சமதள தளவிளைவுறச் செய்து வெளியில் அனுப்புகிறது. ஆகையால் முதல் நைக்கல் தளவிளைவாக்கி என்று கூறப்படும். இந்தச் சமதள-தள ஒளி இரண்டாவது நைக்கலின்

வழியாகச் செல்லும்பொழுது அதன் அலைவுத்தளம் நைக்கலின் முதன்மைத் தளத்திற்கிணையாக இருப்பதால் மாறுதலின்றி நைக்கலி லிருந்து வெளிவரும். ஆனால் இரண்டாவது நைக்கலை அதன் முதன் மைத்தளம் முதல் நைக்கலின் முதன்மைத் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக இருக்குமாறு செய்தால் இரண்டாவது நைக்கலில் வரும் சம தள ஒளியின் அலைவுகள் அதன் முதன்மைத் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக இருக்கும். ஆகையால் இரண்டாம் நைக்கலிலிருந்து ஒளி வெளி வருவது தடைப்படும். இந்த இரண்டாவது நைக்கல், பகுப்பான் (analyser) என்று கூறப்படும். இவ்வாறு இரு நைக்கல்களையும் அவற்றின் முதன்மைத் தளங்கள் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாக விருக்குமாறு அமைத்தால் அவை குறுக்குறு நைக்கல்கள் (crossed nicols) என்று கூறப்படும்.

இரு குறுக்குறு நைக்கல்களின்வழியாகத் தளவிளைவுறு ஒளிக் கற்றையைப் பார்த்தால் பார்வைப் புலம் இருண்டிருக்கும். இவ்வாறு அமைக்கப்பட்ட குறுக்குறு நைக்கல்களுக்கிடையில், மேற்பரப்பு ஒளி அச்சுக்கு நேர்குத்தாகவிருக்குமாறு வெட்டப்பட்ட ஒரு குவார்ட்ஸ் படிகத்தை, ஒளி நேர்குத்தாக விழுமாறு வைத்தால் பார்வைப் புலனிலேற்பட்ட இருள் மறைந்து சிறிது ஒளி விளக்கம் ஏற்படும். இப்பொழுது குறுக்குறு நைக்கல்களின் பகுப்பானை ஒரு குறிப்பிட்ட திசையிலாவது அல்லது தள விளைவாக்கியை நேர் எதிர்த்திசையிலாவது சுழற்றினால் பார்வைப் புலம் மீண்டும் இருண் டிருக்கும். இதிலிருந்து குவார்ட்ஸ் தட்டிலிருந்து வெளிவரும் ஒளி சமதள-தள ஒளி என்பது தெளிவாகிறது. ஆனால், அதன் தள விளைவுத் தளம் ஒரு குறிப்பிட்ட கோணம் சுழற்றப்பட்டுள்ளது. இந்த வியத்தகு விளைவிற்குத் தளவிளைவுத் தள சுழற்சி அல்லது ஒளியியல் வினை என்று பெயர். இத்தகைய தள விளைவுத் தள சுழற்சியை ஏற்படுத்தும் பொருள்களுக்கு ஒளியியல் வினைகொண்ட பொருள்கள் (optical active substance) என்று பெயர். இத்தகைய தள விளைவுத் தள சுழற்சி சில பொருள்களில் வலஞ்சுழியாக (clock wise)வும் சில பொருள்களில் இடஞ்சுழியாக (anti clockwise)வும் இருக்கும். இந்தப் பொருள்களுக்கு முறையே வலஞ்சுழி சுழற்சிப் (dextro rotatory) பொருள்களென்றும், இடஞ்சுழி சுழற்சிப் (levo rotatory) பொருள்களென்றும் பெயர்.

இத்தகைய தள விளைவுத் தள சுழற்சியை, குவார்ட்ஸ் படிகம் மட்டுமின்றி டர்பைன்டைன் போன்ற சில திரவங்களும் சர்க்கரை போன்ற பொருள்களின் கரைசல்களும் ஏற்படுத்துகின்றன.

பாய்ட் என்ற விஞ்ஞானி ஒளியியல் வினைகொண்ட படிகங் களில் செய்த ஆராய்ச்சியின் பயனாகக் கீழ்க்கண்ட முடிவுகளைக் கொண்டார்.

1. ஒரு குறிப்பிட்ட நிற ஒளிக்குப் படிகத்தில் ஏற்படும் தள விளைவுத் தள சுழற்சி அந்தப் படிகத்தின் கனத்திற்கு ஏற்ப விருக்கும்.

2. இரு படிகங்களிலேற்படும் சுழற்சி, ஒவ்வொரு படிகத்திலும் தனித்தனியாக ஏற்படும் சுழற்சியின் கூடுதலாகும்.

3. தளவிளைவுத் தள சுழற்சி படிகத்தின் வெப்ப நிலைக்கேற்ப விருக்கும்.

4. ஒரு குறிப்பிட்ட படிகத்திலேற்படும் சுழற்சி ஒளி அலை நீளத்தின் இருமடியின் எதிர்வீதத்திலிருக்கும்.

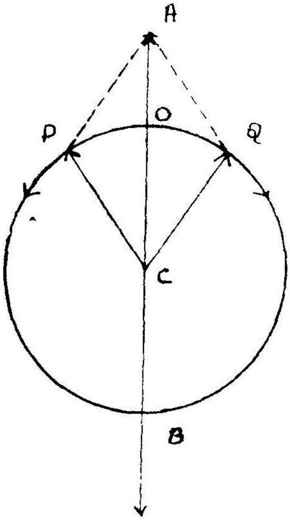
5. மேலும் ஒளியியல் வினைகொண்ட பொருளையும் ஒளியியல் வினையற்ற பொருளையும் கொண்ட கலப்பில் ஏற்படும் சுழற்சி, ஒளியியல் வினைகொண்ட பொருளின் செறிவிற்கு ஏற்பவிருக்கும்.

12·27. தளவிளைவுத்தள சுழற்சிக்கு ஃப்ரனெலின் விளக்கம் (**Fresnel's explanation for the rotation of plane of polarisation**) : ஃப்ரனெலின் விளக்கப்படி ஒரு நேர்கோட்டு அலைவை அதே அலைவு நேரமும், அலைவீச்சும் கொண்ட இரு வட்ட அலைவுகளாகக் கொள்ளலாம். இந்த இரு வட்ட அலைவுகளும் வலஞ்சுழியாகவும் இடஞ்சுழியாகவும் இயங்குவதாகவும் கொள்ளவேண்டும். சமதள தள ஒளி ஓர் ஒளியியல் வினைகொண்ட பொருளில் விழுந்தால், அந்த ஒளி வலஞ்சுழியாகவும் இடஞ்சுழியாகவும் இயங்குகின்ற இரு வட்ட அலைவுகளாகப் பிரிகின்றது. இந்த இரு பகுதிகளும் ஒரே திசையில் வெவ்வேறு திசைவேகங்களில் செல்கின்றன. ஆகையால், ஒளியியல் வினைபொருள்களிலிருந்து வெளிவரும் பொழுது அவை ஒருங்கிணைந்து நேர்கோட்டலைவை ஏற்படுத்தும். ஆனால், இந்த இரு பகுதிகளின் கட்டவேறுபாட்டிற்கு ஏற்ப அவற்றின் அலைவுத்தளம் மாறுபட்டிருக்கும். வலஞ்சுழி சுழற்சி ஏற்படும் பொருள்களில் வலஞ்சுழிப் பகுதி வட்ட ஒளியின் வேகம் அதிகமாகவும் இடஞ்சுழி சுழற்சி ஏற்படும் பொருள்களில் இடஞ்சுழி வட்ட ஒளியின் வேகம் அதிகமாகவும் இருக்கும்.

ஒரு சமதள தள ஒளி ஒரு படிகத்தில் C A என்ற ஒளி அச்சுத் திசையில் விழுந்தால் (படம் 12·24) ஒளி அச்சுத் திசையிலுள்ள அதன் அலைவுகளை எதிரெதிர்த் திசையில் செல்லும் இரு வட்ட அலைவுகளாக (படத்தில் காட்டியதுபோல்) பகுக்கலாம். வட்ட அலைவில் P என்ற புள்ளியின் அலைவு இடஞ்சுழியாக இருப்பதாகவும் Q என்ற புள்ளி வலஞ்சுழியாக இருப்பதாகவும் கொள்வோம்.

(1) கால்ஸைட் போன்ற ஒளியியல் வினை ஏற்படாத படிகங்களில் இரு வட்ட அலைவுகளும் ஒரே திசை வேகத்தில் படிகத்தினுள்

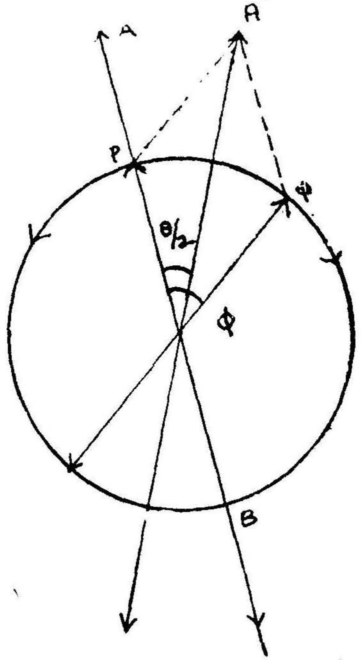
செல்லும். இத்தகைய படிகங்களில் O-விலிருந்து ஒரே நேரத்தில் கிளம்பும் P, Q என்ற இரு இடஞ்சுழி, வலஞ்சுழி அலைவுகளும் ஒரே திசை வேகத்தில் செல்வதால் எந்த நேரத்தில் இந்த இரு அலைவுகளும் ஒருங்கிணைந்தாலும் அவற்றின் தொகு பயன் அலைவு முதலில் அலைவு கொண்டிருந்த CA திசையிலேயே இருக்கும். இத்தகைய படிகங்களில் அலைவுத் தளம் மாறுது. ஆகையால் தளவிளைவுத்தள சுழற்சி ஏற்படுவதில்லை.



படம் 12·24

(2) ஆனால், குவார்ட்ஸ் போன்ற ஒளியியல்பு வினைகொண்ட படிகத்தில் இரு வட்ட அலைவுப்பகுதிகளும் ஒன்றுக்கொன்று சிறிது வேறுபட்ட திசைவேகங்களில் முன் செல்லும். வலஞ்சுழி படிகங்களில் வலஞ்சுழி வட்ட அலைவு Q (படம் 12·25) இடஞ்சுழி வட்ட அலைவு P-ஐ விட அதிகத் திசை வேகத்தில்செல்லும்.

ஆகையால், படிகத்தில் ஒளி விழும்போது, P, Q என்ற இரு புள்ளிகளின் அலைவுகள் O-விலிருந்து ஒரே நேரத்தில் தொடங்கினாலும் படிகத்திலிருந்து ஒளி வெளிவரும்பொழுது P ஓர் அலைவை முடிப்பதாகக் கொண்டால், அந்த நேரத்தில் Q ஓர் அலைவை முடித்து மேலும் $\phi$ கோணம் சென்றிருக்கும். ஆகையால், இரு அலைவுத் திசைகளுக்கிடையிலுள்ள கோணம் PCQ = $\phi$ ஆகும். இந்த இரு அலைவுகளும் ஒருங்கிணைந்தால், தொகுபயன் அலைவு CA′ திசையிலிருக்கும். படிகத்தில் ஒளிவிழும்பொழுது, அலைவு CA திசையிலிருந்தது.



படம் 12·25

படிகத்திலிருந்து வெளிவரும் பொழுது அலைவு CA′ திசையில் இருக்கிறது. அதிர்வுத்தளம் சுழற்றப்படுகிறது. ஆகையால்,

தளவிளைவுத் தளம் $\phi/_2$ கோணம் சுழற்றப்பட்டுள்ளது. இந்தக் கோணத்தின் அளவு, படிகத்தில் ஒளி செல்லும் தொலைவு, அதன் கனம் '$t$'-ஐப் பொறுத்துள்ளன. $\mu_e$ மற்றும் $\mu_r$ இவைகளை முறையே இடஞ்சுழி, வலஞ்சுழி அலைவுகள்கொண்ட ஒளியின் விலகெண்ணுகக்கொண்டால் இரு ஒளிப் பகுதிகளுக்குமேற்படும் பாதை வேறுபாடு $(\mu_e-\mu_r)\ t$ ஆகும்.

இரு ஒளிப்பகுதிகளுக்கிடையில் பாதைவேறுபாடு $\lambda$ ஆகவிருந்தால் அவற்றின் கட்ட வேறுபாடு $2\pi$ ஆகும். பாதை வேறுபாடு $(\mu_e-\mu_r)\ t$ ஆனல்

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda}(\mu_e-\mu_r)\ t \text{ ஆகும்.}$$

ஆனல், தள விளைவுத் தள சுழற்சி

$\phi/2$ ஆகும் அல்லது

$$\phi/2 = \frac{\pi}{\lambda}(\mu_e-\mu_r)\ t \quad \dots \quad \dots \text{ஆகும்.}$$

இடஞ்சுழிப் படிகங்களில் $\mu_e$ குறைவாக இருக்கும்.

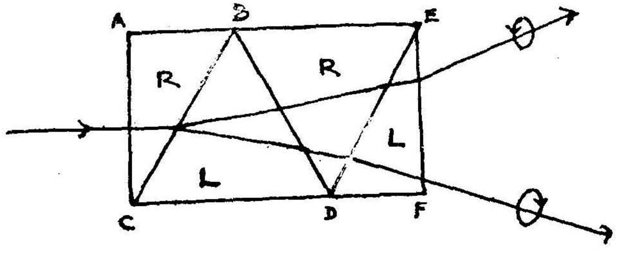
$$2/\phi = \frac{\pi}{\lambda}(\mu_r-\mu_e)\ t \quad \dots \quad \dots \quad \text{ஆகும்.}$$

அல்லது தளவிளைவுத்தளம் இடப்புறம் சுழற்றப்பட்டிருக்கும்.

12·28. ஃப்ரநெல் சோதனை (Fresnel's experiment): மேலே கூறிய விளக்கத்தின் உண்மையை ஃப்ரநெல் கீழ்க்காணும் சோதனையின்மூலம் நிருபித்துக் காட்டினர்.

இந்த விளக்கத்தை நிருபிக்கச் சமதள தள ஒளி, இரு வட்டத் தள ஒளியாகப் பிரிந்து, இருதிசை வேகங்களில் செல்கிறது என்பதை நிருபிக்கவேண்டும்.

குவார்ட்ஸ் படிகத்தில் வலஞ்சுழி, இடஞ்சுழி என இரு வகைப் படிகங்களுள்ளன. வலஞ்சுழி படிகத்தில் வலஞ்சுழி வட்டத்தள




படம் 12·26

ஒளி அதிக திசைவேகத்திலும் இடஞ்சுழி படிகத்தில் இடஞ்சுழி வட்டத்தள ஒளி அதிக திசைவேகத்திலும் பரவும். (படம் 12·26-ல்).

ABEFDC என்பது, வலஞ்சுழி குவார்ட்ஸ் படிகங்களிலான முப் பட்டகங்களையும் (R) இடஞ்சுழி குவார்ட்ஸ் படிகங்களாலான முப்பட்டகங்களையும் (L) அடுத்தடுத்தும் அவற்றின் ஒளி விலக்க முனைகள் எதிர் எதிராகவும்கொண்ட ஒரு கூட்டுப் படிகமாகக் கொள்வோம். மேலும், எல்லாப் பட்டகங்களிலும் அவற்றின் ஒளி அச்சுகள் பட்டகங்களின் அடிப்பாகங்களுக்கு இணையாக இருப்பதாகக் கொள்வோம்.

சமதள-தள ஒளிக் கற்றையை நேர்குத்தாக AC பக்கத்தில் விழச்செய்தால், முதல் பட்டகத்தில் ஒளி விலகல் நிகழாது. ஆனால், சமதள தள ஒளி இரு எதிரெதிரான வட்டத்தள ஒளிப் பகுதிகளாகப் பிரிபடும். ABC பட்டகத்தை அடையும்பொழுது, வலஞ்சுழி பகுதிக்கு BCD பட்டகம் அடர்மிகு ஊடகமாக விளங்கும். ஆகையால், இப் பகுதி பட்டகத்தின் அடிப்பாகத்தை நோக்கித் திருப்பப் படும். ஆனால், இடஞ்சுழிப் பகுதிக்கு இது அடர்குறை ஊடகமாகிறது. ஆகையால், இந்தப் பகுதி BCD பட்டகத்தின் விளிம்பை நோக்கித் திருப்பப்படுகிறது. இதேபோன்ற காரணங்களால், வலஞ்சுழி வட்டத் தள ஒளிப்பகுதி கூட்டுப் பட்டகத்தின் CDF பக்கத்தை நோக்கியும் இடஞ்சுழி வட்டத் தள ஒளிப்பகுதி ABE பக்கத்தை நோக்கியும் விலகிச்சென்று வெளிவருகின்றன. ஃப்ரநெல் இந்த இரு ஒளிப்பகுதிகளையும் ஒரு நைக்கல் பகுப்பானையும் கால் அலைத்தட்டையும்கொண்டு சோதித்து, இரு ஒளிப்பகுதிகளும் எதிரெதிரான சுழற்சிகளைக் கொண்ட வட்டத் தள ஒளி என்று நிரூபித்துக் காட்டினார்.

12·29. தன் திருப்புத் திறன் (Specific rotation): சில பொருள்களின்வழி சமதள தள ஒளி செல்லும்பொழுது தளவிளைவுத்தளம் சுழற்றப்படுவதாகக் கண்டோம். இவ்வாறு தளவிளைவுத் தளத்தில் ஏற்படும் சுழற்சிக் கோணம்,

1. ஒளி ஊடுருவும் பொருளின் கனம்
2. பொருளின் செறிவு அல்லது கரைசலின் செறிவு
3. ஒளியின் அலை நீளம்
4. பொருளின் வெப்பநிலை

இவைகளைப் பொறுத்திருக்கும்; அல்லது ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையில் ஒரு குறிப்பிட்ட ஒளி அலை நீளத்தில்

$\theta \propto lc$ அல்லது

$\theta = S \dfrac{l}{10} c$ என்றாகும். S தன் திருப்ப எண்ணாகும்.

$$S = \frac{10\,\theta}{lc}$$

$l$ செ.மீ. ஒளி ஊடுருவும் நீளமானால், இது $\frac{l}{10}$ டெசி. மீட்டராகும். C பொருளின் செறிவு அல்லது கரைசலின் செறிவாகும். $l$-ஐ டெசி மீட்டரிலும், C-ஐ கிராம்/க.செ.மீ.லும் குறிப்பிட்டால் $S = \frac{\theta}{lc}$ ஆகும்.

'சமதள தள ஒளி ஒளியியல் வினைப்பொருள்களின் 1 கிராம்/ க.செ.மீ. செறிவுடைய கரைசலின் ஒரு டெசிமீட்டர் செல்வதால் ஏற்படும் தளவிளைவுத்தளத் திருப்பக் கோணம் தன் திருப்ப எண் என்று கூறப்படும்.'

12·30. போலாரி மீட்டர் (Polarimeter) : ஒளியியல் சுழற்சியை அளக்கப் பயன்படும் கருவிக்கு போலாரி மீட்டர் என்று பெயர். மிகச் சுலபமான முறையில் கீழ்க்கண்டவாறு போலாரி மீட்டரின் அமைப்பு முறையை விளக்கலாம்.

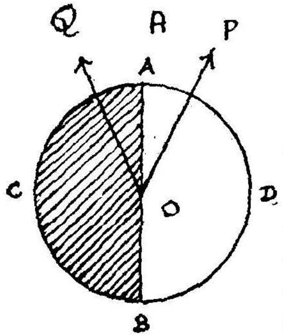
ஒளி மூலத்திலிருந்து வரும் ஒற்றைநிற ஒளியை ஒரு நைக்கலில் விழச் செய்தால், நைக்கலிலிருந்து வெளிவரும் ஒளி சமதள தள ஒளியாக விருக்கும். இதனை மற்றொரு நைக்கலில் விழச்செய்து, இரண்டாவது நைக்கலைச் சுழற்றினால், இரண்டாவது நைக்கலின் முதன்மைத் தளம் முதல் நைக்கலின் முதன்மைத் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக அமையும்பொழுது, இரண்டாவது நைக்கலிலிருந்து ஒளி வெளிவராது. இருள் தோன்றும். இப்பொழுது இரு நைக்கல்களுக்கிடையில் ஒளியியல வினைப்பொருளை வைத்தால், ஒளியை அதன்வழி ஊடுருவச் செய்தால் இரண்டாவது நைக்கலிலிருந்து ஒளி வெளிவரத் துவங்கும். இப்பொழுது இரண்டாவது நைக்கலைச் சுழற்றினால் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையில் ஒளி வெளிவருவது மீண்டும் தடைப்படும்.

மறுபடி இருள் வருவதற்கு இரண்டாவது நைக்கல் சுழற்றப்பட்ட கோணம், தளவிளைவுத் தளத்தின் சுழற்சிக் கோணமாகும். ஆனால், இந்த முறையில் சுழற்சிக் கோணத்தைத் துல்லியமாக அளக்கமுடியாது.

துல்லியமாக அளப்பதற்குப், பொதுவாக, இருவகைப் போலாரி மீட்டர்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. அவைகள்: (1) லாரண்ட்ஸ் அரைநிழல் போலாரி மீட்டர் (2) இரட்டை குவார்ட்ஸ் போலாரி மீட்டர்.

1. லாரண்ட்ஸ் அரைநிழல் போலாரி மீட்டர் (Laurent's half shade polarimeter) : அரைநிழல் அமைப்புமுறையில் ஒரு வட்டத் தட்டின் ACB என்ற அரை வட்டப்பகுதி(படம் 12·27)ஒரு குவார்ட்ஸ் அரை அலைத்தட்டாகும். ADB அரைவட்டப்பகுதி அதே ஒளி

புகு இயல்புடைய ஒரு கண்ணாடித் தட்டாகும். அரை அலைத்தட்டில் ஒளி அச்சு AB பக்கத்திற்கிணையாக இருக்குமாறு வெட்டப்பட்டுள்ளது. ADB கண்ணாடித்தட்டு உட்கவரும் ஒளியும் ACB அரை அலைத்தட்டு உட்கவரும் ஒளியும் ஒரே அளவாக இருக்குமாறு கண்ணாடித்தட்டின் கனம் அமைந்திருக்கும்.

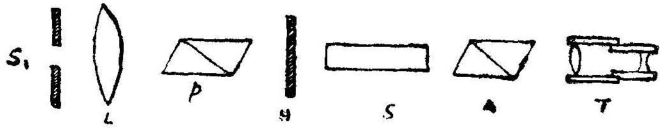


படம் 12·27

OP திசையில் அலைவுகளைக்கொண்ட சமதள - தள ஒளி இந்த ADBC தட்டில் விழுந்தால், ADB பகுதியில் விழும் ஒளி அப்படியே கடந்து செல்லும். ஆனால் ACB பகுதியில் விழும் ஒளியின் அலைவுகள் ஒளி அச்சுக்கு இணையாக OA திசையிலும், நேர்குத்தாக ODE திசையிலும் பிரிந்து, அசாதாரணக் கதிராகவும், சாதாரணக் கதிராகவும் அரை அலைத்தட்டைக் கடக்கும். அரை அலைத்தட்டின் இயல்புப்படி, இந்த இரு கதிர்களும் தட்டிலிருந்து வெளிவரும்பொழுது ஒன்றுக்கொன்று π கட்ட வேறுபாடு கொண்டிருக்கும். ஆகையால் இவைகள் ஒருங்கிணைந்தால், தொகுபயன் அலைவு OQ திசையிலிருக்கும். அதாவது ACB பகுதி வழியாக வெளிவரும் ஒளி OQ திசையில் அலைவுகொண்ட சமதள தள ஒளியாகும். ஆனால், ADB பகுதியின் வழியாக வெளிவரும் ஒளி OP திசையில் அலைவு கொண்ட சமதள தள ஒளியாகும். பகுக்கும் நைக்கலின் முதன்மைத் தளம் OP-க்கு இணையாக இருக்குமாறு அமைத்தால், ADB பகுதியில் ஒளி விளக்கம் கூடுதலாகவும், OQ-க்கு இணையாக அமைத்தால் ACB பகுதியில் ஒளி விளக்கம் கூடுதலாகவும் இருக்கும். அல்லது AOB-க்கு இணையாகவிருக்குமாறு அமைத்தால் இரு பகுதிகளும் சமஒளிச் செறிவுடன் விளங்கும். பகுப்பானின் முதன்மைத்தளம் AOB திசையில் இருக்குமாறு செய்தால், இரு பகுதிகளும் சம ஒளி விளக்கம் கொண்டிருக்கும். பகுப்பானை ஒரு சிறிது சுழற்றினாலும் இரு பகுதிகளின் ஒளி விளக்கங்களும் வேறுபடும்.

போலாரி மீட்டர் : படம் 12·28 போலாரி மீட்டரின் பாகங்களையும் அவற்றின் அமைப்புமுறையையும் விளக்குகிறது.

$S_1$ என்ற சிறுதுளையின் வழியாக வரும் ஒரு நிற ஒளியை ஒரு குவி வில்லை (2)-யின் மூலம் இணையாக்கி நைக்கல் P-ல் விழுமாறு செய்யப்பட்டுள்ளது. P-லிருந்து வெளிவரும் சமதள தள ஒளி மேலே விளக்கிய அரைநிழல் அமைப்பின் வழியாகச் செல்கிறது. அரை




படம் 12·28

நிழல் அமைப்பிலிருந்து வெளிவரும் ஒளியை, இரண்டாவது நைக்கல் A-ன் வழியாக ஒரு தொலை நோக்கியால் (T) பார்த்துப் பகுப்பானைச் சுழற்றி (A) அரை அலைத் தட்டின் இரு பகுதிகளும் சம ஒளி விளக்கம் கொள்ளுமாறு செய்யவேண்டும். பகுப்பானின் இந்த நிலையை அதனுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள வட்ட அளவுகோலின் துணைகொண்டு துல்லியமாகக் குறித்துக்கொள்ளலாம். ஒளியியல் வினைகொண்ட பொருளை (S) அரை நிழல் தட்டிற்கும் பகுப்பானுக்குமிடையில் நுழைத்தால், தொலைநோக்கியின் பார்வைப் புலனில் தெரியும் அரை நிழல் தட்டின் இரு பகுதிகளும் சம ஒளிவிளக்கம் கொண்டிரா. பகுப்பானைச் சுழற்றி மீண்டும் பார்வைப் புலனின் இரு பகுதிகளும் சம ஒளி விளக்கம் கொண்டிருக்குமாறு செய்ய வேண்டும். இப்பொழுது வட்ட அளவுகோல் காட்டும் அளவைத் துல்லியமாகக் குறித்துக்கொண்டால் இரு அளவுகளுக்குமுள்ள வேறுபாடு சுழற்சிக்கோணமாகும். ஒளியியல் வினைப் பொருளின் நீளத்தையும் அதன் செறிவையும் அளந்துகொண்டால் தன் திருப்பு எண்ணை

$$S = \frac{10\theta}{l_c}$$ என்ற சமன்பாட்டைக் கொண்டு

காணலாம்.

2. இரட்டைக் குவார்ட்ஸ் அமைப்பு முறை: இந்த அமைப்பில் அரை நிழல் முறைக்குப் பதில் இரட்டைக் குவார்ட்ஸ் முறை பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது. மற்றப் பகுதிகளில் மாற்றமிருக்காது. அரை நிழல் அமைப்பில் ஓர் அரை அலைத்தட்டு, பயன்படுத்தப்பட்டதைப் பார்த்தோம். இந்த அரை அலைத்தட்டு எந்த நிற ஒளிக்கு அமைக்கப்பட்டதோ அந்த நிற ஒளி அந்தத் தட்டின் வழியாகச் செல்லும் பொழுதுதான் பாதை வேறுபாடு அரை அலைத்தூரம் ஆகும். ஆகையால் வெவ்வேறு நிற ஒளிகளுக்கு வெவ்வேறு அரை அலைத்தட்டு பயன்படுத்தப்படவேண்டும். அல்லது ஓர் அரை நிழல் அமைப்பை எல்லா நிற ஒளிகளுக்கும் அல்லது வெள்ளை நிற ஒளிக்கும் பயன்படுத்தமுடியாது. ஆனால், இரட்டை குவார்ட்ஸ் அமைப்பு முறையை வெள்ளை நிற ஒளிக்குப் பயன்படுத்தலாம்.

இது ஒவ்வொரு பகுதியும் வலஞ்சுழி, இடஞ்சுழி குவார்ட்ஸ் படிகங்களிலான இரு அரைவட்டப்பகுதிகள் இணைந்த ஒரு வட்டத் தட்டாகும். இதன் மேற்பரப்பு ஒளி அச்சுத்திசைக்கு நேர் குத்தாக விருக்கும். இந்தத் தட்டுகளின் கனம் 3·75 மி.மீ. ஆக விருக்கும்

இந்த வட்டத் தட்டின் பொது விட்டத்திற்கிணையாக அலைவுகளைக் கொண்ட ஒரு மஞ்சள் நிற சமதள தள ஒளியைத் தட்டின்மேல் விழச் செய்தால் ஒவ்வொரு பகுதித் தட்டும், ஒளியின் தளவிளைவுத் தளத்தை 90° கோணம் எதிரெதிராகச் சுழற்றுகின்றன. இப்பொழுது தன் முதன்மைத் தளம் பொதுவிட்டத்திற்கு இணையாக அமையுமாறு உள்ள ஒரு பகுப்பான்வழியாக இரட்டைக் குவார்ட்ஸ் வட்டத் தட்டைப் பார்த்தால், தட்டு இருளாகத் தெரியும். மஞ்சள் நிற ஒளிக்குப் பதில் ஒரு வெள்ளை நிற ஒளியைப் பயன்படுத்தினால் வெள்ளை நிறத்திலுள்ள வெவ்வேறு நிற ஒளிகளும் இரு குவார்ட்ஸ் தட்டுகளாலும் வெவ்வேறு கோணங்கள் சுழற்றப்படும். ஆனால், மஞ்சள் நிறம்மட்டும் 90° கோணம்சுழற்றப்பட்டு எதிரெதிரானதிசைகளில் அலைவு கொண்டு அழிந்துவிடும். இரு அரைவட்டப்பகுதிகளும் மஞ்சள் நிறம் நீக்கப்பட்ட மற்ற சிவப்பு, நீலம், ஊதா நிறங்களின் கூட்டினாலான ஒரு சாம்பல் நிறமாகத் தோன்றும். பகுப்பானை ஒரு சிறிது சுழற்றினாலும் ஒரு பகுதி சிவப்பாகவும், மறு பகுதி நீலமாகவும் தோன்றும்.

ஆகையால் வெள்ளை நிற ஒளியைக் கொண்டு பார்வைப் புலனின் தட்டின் இரு பகுதிகளும் சாம்பல் நிறத்திலிருக்குமாறு செய்து கொள்ளவேண்டும். பின்னர் இரட்டைக் குவார்ட்ஸ்களுக்கும் பகுப்பானுக்குமிடையில் ஒளியியல் வினைப்பொருளை ' வைத்தால் சாம்பல்நிறம் மறைந்துவிடும். மீண்டும் சாம்பல் நிறம் ஏற்படுத்தப் பகுப் பானைத் திருப்ப வேண்டிய கோணம் தளவிளைவுத் தளத்தின் சுழற்சிக் கோணமாகும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. 1·5 விலகெண் கொண்ட ஒரு கண்ணாடித்தட்டில் ஓர் ஒளிக்கதிர் தள விளைவுள்ள கோணத்தில் விழுகிறது. கண்ணாடித் தட்டினுள் அதன் விலகு கோணத்தைக் காண்.

$$\mu = 1{\cdot}55$$
$$\tan i = 1{\cdot}55$$
$$i = 57^\circ 11'$$
$$i + r = 90'$$
$$r = 32^\circ 49'$$

2. ஒரு படிகத்தின் சாதாரணக் கதிருக்கான விலகெண் 1·553. மற்றும் அசாதாரணக் கதிருக்கான விலகெண் 1·554 ஆகும். 6000 ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு அலை நீளமுள்ள ஒளிக்கு, கால் அலைத் தட்டாகப் பயன்படுத்தப் படிகத்தின் குறைந்த கனம் என்ன இருக்க வேண்டும் ?

$$\frac{\lambda}{4} = (\mu_e - \mu_o)\, t$$

$$t = \frac{\lambda}{4(\mu_e - \mu_o)} = \frac{6000 \times 10^{-8}}{4(1{\cdot}554 - 1{\cdot}55)}$$

$$= 0{\cdot}015 \text{ செ.மீ.}$$

3. 20 செ. மீட்டர் நீளமுள்ள குழாயில் சர்க்கரைக் கரைசல் வைக்கப்பட்டுச் சர்க்கரை மானியில் வைக்கப்படும்பொழுது 11° ஒளியியல் சுழற்சி (optical rotation) ஏற்படுத்தப்படுகிறது. சர்க்கரையின் தன் திருப்பு திறன் 66° ஆனால், கரைசலில் சர்க்கரையின் செறிவைக் காண்.

$$S = \frac{10\ \theta}{l\, c} \quad (l \text{ செ.மீ.})$$

$$C = \frac{\theta}{S \frac{l}{10}}$$

$$= \frac{11}{60 \times \frac{20}{10}}$$

$$= 0{\cdot}083 \text{ கிராம்/கன.செ.மீ.}$$

பயிற்சி

1. (1) தளவிளைவுற்ற ஒளி

(2) தளவிளைவுத் தளம்

(3) அலைவுத்தளம்

- இவற்றை விளக்குக.

2. எதிரொளிப்பு முறையில் ஒளியில் தளவிளைவு ஏற்படுவதை விளக்கு. பொலாரஸ்கோப் என்றால் என்ன?

3. புரூஸ்டர் விதியை விளக்கிக் கூறு.

4. இரட்டை விலக்கம் என்றால் என்ன?

5. கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளனவற்றை வரையறுத்துக் கூறு.

(1) படிகத்தின் ஒளி அச்சு

(2) படிகத்தின் முதன்மைத் தளம்

6. நேர், எதிர்ப்புப் படிகங்கள் என்ருல் என்ன? ஒவ்வொன்றுக்கும் ஒரு மாதிரி படிகத்தைக் கூறு.

7. இரட்டை விலக்கத்திற்கான ஹைஜயனின் கொள்கையை விளக்கிக் கூறு.

8. நைக்கல் பட்டகத்தின் அமைப்புமுறையை விளக்கி அதனை எவ்வாறு தளவிஊவாக்கியாகவும் பகுப்பானுகவும் பயன்படுத்த முடியும் என்று விவரி.

9. கால், அரை அலைத்தட்டுகளென்ருல் என்ன? அவைகளை அமைக்கும் முறையை விளக்குக.

10. சமதள-தளஒளி, வட்டத் தள ஒளி, நீள் வட்டத் தள ஒளி இவற்றின் பண்புகளை விளக்கிக் கூறு.

11. சமதள-தள ஒளி, வட்டத் தளஒளி, நீள்வட்டத் தள ஒளி இவற்றைத் தோற்றுவிக்கும் முறையையும் பகுக்கும் முறையையும் விளக்கு.

12. ஒளியியல் விஊ என்ருல் என்ன? ஒளியியல் விஊக்கான ஃபரநெல் விளக்கம் என்ன?

13. அரை நிழல் போலாரி மீட்டரின் அமைப்பு முறையை விளக்கி, அது எவ்வாறு ஒரு கரைசலின் தன் திருப்பு எண்ணைக் காணப் பயன்படுகிறது என்று விவரி.

14. சோடியம் விளக்கின் ஒளிக்கான, சில படிகங்களின் விலகெண்கள் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அவற்றில் நேர், எதிர்ப் படிகங்களைப் பிரித்துக் காட்டு.

| | சாதாரண | அசாதாரண |
|---|---|---|
| கார்போரண்டம் | 2·648 | 2·693 |
| சோடாநைடர் | 1·585 | 1·336 |
| குவார்ட்ஸ் | 1·5443 | 1·5534 |
| கால்ஸைட் | 1·648 | 1·486 |

15. ஒரு கால்ஸைட் படிகத்தின் சாதாரண அசாதாரணக் கதிருக்கான விலகெண்கள் முறையே 1·648 மற்றும் 1·486 கால், அரை அலைத்தட்டுகளாகப் பயன்படுமுறையில் 0·01 மி.மீ. கனத்தில் கால்ஸைட் படிகத்தில் ஒரு தட்டு வெட்டப்பட்டுள்ளது.

ஒளியின் எந்த அலைநீளங்கட்கு இந்தத் தட்டு (1) கால் அலைத்தட்டாகவும் (2) அரை அலைத்தட்டாகவும் பயன்படும்?

16. ஒரு கால் அலைத்தட்டில் நேர்குத்தாக நீள் வட்டத்தள ஒளி விழுகிறது. நீள்வட்டத்தின் பெரிய அச்சு, தட்டின் ஒளி அச்சுக்கு (1) 0° (2) 60° (3) 90° சாய்வாக விழும்பொழுது வெளிவரும் ஒளியின் தன்மைகளை விளக்கு.

17. ஒரு குவார்ட்ஸ் படிகத்தின் வலப்புற அலைவு ஒளிக்கான விலகெண் 1·55810 ஆகவும் இடப் புற அலைவு ஒளிக்கான விலகெண் 1·55821 ஆகவும் உள்ளன. 5491 ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு ஒளியின் அலைவுத்தளத்தை 60° திருப்புவதற்கான படிகத்தின் கனத்தைக் கணக்கிடு.

18. சுக்ரோஸின் (sucrose) தன் திருப்பெண் 66·4°/செ.மீ./12·5 கிராம்சுக்ரோஸை 100க.செ. தண்ணீரில் கரைக்கப்பட்ட கரைசலின் 20 செ.மீ. நீளக் கரைசல் ஏற்படுத்தும் ஒளியியல் திருப்பத்தைக் கணக்கிடு.

19. ஒளி அச்சு படுதளத்திலும், படிகப்பரப்பற்கு இணையாகவும் இருக்கும். ஒரு கால்ஸைட் படிகத்தில் ஒளிக்கதிர் படிகப்பரப்பிற்கு நேர்குத்தாக விழும்பொழுது படிகத்தினுள் தோன்றும் இரட்டை ஒளிவிலக்க அலைமுகப்புகளின் வடிவங்களைக் காண்.

# கலைச் சொற்கள்

## A

| | |
|---|---|
| Aberration | பிறழ்ச்சி |
| Abbe's immersion objective | அபேயின் அமிழ்ப்புப் பொருளருகு வில்லை |
| Abscissae | கிடை அச்சு கிடை ஆய |
| Absent spectrum | தோன்று நிறமாலை |
| Absolute | தனி, சார்பிலா |
| Absorption | உட்கவர்தல் |
| Absorption bands | உட்கவர் பட்டைகள் |
| Absorption line | உட்கவர் கோடு |
| Absorption spectrum | உட்கவர் நிறமாலை |
| Achromatic combination | நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய இணைப்பு |
| Achromatic doublet | நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய இரட்டை வில்லை |
| Achromatic fringe | நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய ஒளிவரிகள் |
| Achromatic lens | நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய வில்லை |
| Achromatic objective | நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய பொருளருகு வில்லை |
| Achromatic prism | நிறப்பிறழ்ச்சி நீங்கிய பட்டகம் |
| Air cell | காற்றுச் சிமிழ் |
| Air wedge | காற்று ஆப்பு |
| Amplitude | வீச்சு |
| Angle of aberration | பிறழ்ச்சிக்கோணம் |
| Angle of dispersion | கோண நிறப்பிரிகை |
| Angle of incidence | படுகோணம் |
| Angle of inclination | சாய்கோணம் |
| Angle of minimum deviation | சிறும திசைமாற்றக்கோணம் |
| Angle of reflection | எதிரொளிப்புக்கோணம் |
| Angle of refraction | விலகு கோணம் |
| Angle of view | பார்வைக் கோணம் |

| | |
|---|---|
| Angstrom unit | ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு |
| Angular magnification | கோண உருப்பெருக்கம் |
| Anisotropic crystal | திசை யொவ்வாப் பண்பியல் படிகம் |
| Annular | வளை வடிவ |
| Annular eclipse | வளைவடிவ கிரகணம் (கங்கண |
| Anomalous dispersion | முரலிய நிறப்பிரிகை |
| Anticlockwise | இடஞ்சுழியாக |
| Aperture | துளை, இடை இடம் |
| Apex | உச்சி |
| Aplanatic points | அப்ளநாட்டிக் புள்ளிகள் |
| Aplanatic surface | அப்ளநாட்டிக் பரப்பு |
| Apparatus | ஆய்கருவி |
| Apparent | தோற்றவியலான |
| Apparent depth | தோற்ற ஆழம் |
| Apparent loss | தோற்ற இழப்பு |
| Aqueous humour | முன்கண் ரசம் |
| Arcspectrum | சுடர்நிறமாலை |
| Aurora australis | தென்துருவ ஒளி |
| Auxiliary lens | துணைவில்லை |
| Axial line | அச்சுக்கோடு |
| Axis | அச்சு |
| Axis of rotation | சுழலச்சு |
| Azimuth angle | திசைக்கோணம் |
| Azimuthal effect | திசைவிளைவு |

## B

| | |
|---|---|
| Babinets' compensator | பேபினட் ஈடுசெய்வி |
| Back lash | பின்னடிப்பு |
| Band intensity | பட்டைச்செறிவு |
| Band head | பட்டைமுகப்பு |
| Band spectrum | பட்டை நிறமாலை |
| Band system | பட்டைத்தொகுதி |
| Band width | பட்டை அகலம் |
| Bath | தொட்டி (நீர்) |
| Beam of light | ஒளிக்கற்றை |
| Biaxial crystal | ஈரச்சுப்படிகம் |
| Bimirror | ஈராடி |
| Biprism | இரட்டைப்பட்டகம் |
| Biquartz | பைகுவார்ட்ஸ் |

| | |
|---|---|
| Bisector | சமவெட்டி |
| Blind Spot | வெற்றுப்புள்ளி |
| Brewester's law | புரூஸ்டர் விதி |
| Brightness | பொலிவு |

## C

| | |
|---|---|
| Calcite | கால்சைட் |
| Canada balsam | கனடா பால்சம் |
| Candle power | கேண்டில் திறன் |
| Cardinal points | கார்டினல் புள்ளிகள் |
| Caustic curve | காஸ்டிக் வளைவு |
| Caustic surface | காஸ்டிக் புறப்பரப்பு |
| Central axis | மைய அச்சு |
| Central fringe | மையவரி |
| Central maximum | மையப்பெருமம் |
| Centroid | ஈர்ப்பு மையம் |
| Cine projector | திரைப்பட வீழ்த்தி |
| Ciliary muscle | சிலியரி தசை |
| Chromosphere | நிற மண்டிலம் |
| Chromatic aberration | நிறப்பிறழ்ச்சி |
| Cinematography | திரைப்படவியல் |
| Cipher | சுழி, சுன்னம் |
| Circle of least confusion | தெளிவு வட்டம் |
| Circular shell | வட்ட ஓடு |
| Circulary polarised light | வட்டத்தள ஒளி |
| Circumference | பரிதி |
| Classification | நிரல்முறை |
| Clockwise | வலஞ்சுழியாக |
| Coaxial cylinder | ஓரச்சு நீருருளை |
| Coaxially | ஓரச்சாக |
| Coherent scattering | ஓரியல் சிதறல் |
| Coherent sources | ஓரியல் மூலங்கள் |
| Collimater | இணையாக்கி |
| Collinear | நேர்கோட்டில் அமைந்த |
| Colour vision | நிறப்பார்வை |
| Coma | கோமா |
| Common axis | பொது அச்சு |
| Common chord | பொதுநாண் |

| | |
|---|---|
| Complementary angle | நிரப்பும் கோணம் |
| Component lenses | வில்லைக் கூறுகள் |
| Compound microscope | கூட்டு நுண்ணோக்கி |
| Concave grating | குழி கீற்றணி |
| Concave lens | குழி வில்லை |
| Concave meniscus | குழிப்பிறை |
| Concave mirror | குழி ஆடி |
| Concentric | பொதுமைய |
| Coplanar | ஒருதளத்திலமைந்த |
| Concentrial rings | பொதுமைய வளையங்கள் |
| Concentrio spheres | பொதுமைய கோளங்கள் |
| Condensing lens | ஒளி குவி வில்லை |
| Conjugate foci | பரிமாற்றுக் குவியங்கள் |
| Conjugate points | துணையியக் குவியங்கள் |
| Conjugate positions | பரிமாற்றுப் புள்ளிகள் |
| Constant | மாறிலி |
| Constanst deviation prism | திசை உருப்பட்டகம் |
| Continuous spectrum | தொடர்நிறமாலை |
| Convention of sign | குறியீட்டு மரபு |
| Converge | குவி |
| Convergent lens | குவிவில்லை |
| Convex meniscus | குவிப்பிறை |
| Convex surface | குவித்தளம் |
| Coordintate | ஆயம் |
| Cornea | கார்னியா |
| Corona | ஒளி வட்டம் |
| Corpuscle | துகள் |
| Corpuscular theory | துகள் கொள்கை |
| Couple | இரட்டை |
| Crest | முகடு |
| Critical angle | மாறுநிலை க்கோணம் |
| Crossed lens | பிறழ்ச்சி நீங்கிய வில்லை |
| Cross wire | குறுக்கிணைக் கம்பி |
| Crossed nicol | குறுக்குறு நைக்கல் |
| Crown glass | கிரவுன் கண்ணாடி |
| Crystal | படிகம் |
| Crystalline lens | படிகவியல் வில்லை |
| Crystallographic axis | படிகவியல் அச்சு |
| Crystalloid | படிக அமைப்புப் பொருள் |
| Curvature | வளைவு |

| | |
|---|---|
| Cusp | வளைவிடம் |
| Cycle | சைக்கிள், சுற்று |
| Cylindrical wave | நீள் உருளை வடிவ அலை |

## D

| | |
|---|---|
| Dark | இருண்ட |
| Dark fringe | இருண்ட வரி |
| Decibel | டெசிபெல் |
| Defect | குறைபாடு |
| Defects of images | பிம்பக்குறைகள் |
| Definition | வரையறை |
| Deflection | விலக்கம் |
| Define | வரைமுற்று |
| Deformation | மாற்றம் |
| Denser medium | அடர்மிகு ஊடகம் |
| Depolarisation | முனைவுநீக்கம் |
| Depth of focus | குவிய ஆழம் |
| Derived units | வழியலகுகள் |
| Deviated | திசைமாறிய |
| Deviation | திசைமாற்றம் |
| Device | கருவி, உபாயம் |
| Dextro rotatory | சுழற்சி |
| Diaphram | இடைத்திரை |
| Dichroi crystal | இரு நிறம் காட்டும் படிகம் |
| Diffraction | விளிம்பு விளைவு |
| Diffraction bands | விளிம்பு விளைவுப்பாங்கம் |
| Diffraction pattern | விளிம்பு விளைவு ஒளி வரிகள் |
| Dilution | செறிவு குறைத்தல் |
| Dimension | பரிமாணம் |
| Dioptre | டைஆப்டர் |
| Dispersion | நிறப்பிரிகை |
| Dispersive material | பிரிக்கும்பொருள் |
| Dispersive power | பிரிதிறன் |
| Distortion | உருக்குலைவு |
| Distorted image | உருக்குலைந்த பிம்பம் |
| Diverging lens | விரிதருவில்லை |
| Double image prism | இரட்டை பிம்பப் பட்டகம் |
| Double refraction | இரட்டை ஒளிவிலக்கம் |
| Double slit | இரட்டைப்பிளவு |
| Double stars | இரட்டைமீன்கள் |
| Doubly refracting medium | இரட்டை ஒளிவிலக்கு ஊடகம் |

| | |
|---|---|
| Drawing board | வரைபலகை |
| Drawing paper | வரைதாள் |

## E

| | |
|---|---|
| Eccentric | வேற்றுமைய |
| Echelon | படியணி |
| Eclipse | மறைவு, கிரகணம் |
| Electro magnetic radiation | மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு |
| Electro magnetic wave | மின்காந்த அலை |
| Element | தனிமம் |
| Ellipse | நீள்வட்டம் |
| Ellipsoid | நீள்வட்டத் திண்மம் |
| Elliptically polarised light | நீள்வட்டத் தள ஒளி |
| Emergent ray | விடுகதிர் |
| Emission bands | வெளிவிடு பட்டைகள் |
| Emission spectrum | வெளிவிடு நிறமாலை |
| Envelope | உறை |
| Epidiascope | எப்பிடயஸ்கோப் |
| Episcope | எபிஸ்கோப் |
| Epoch | தொடக்கக் கட்டம் |
| Equation | சமன்பாடு |
| Equi convex lens | சமகுவி வில்லை |
| Equilibrium | சமநிலை |
| Equipment | சாதனம் |
| Equivalent lens | இணைமாற்ற வில்லை |
| Erect | நேரான |
| Erecting lens | நிமிர்த்தும் வில்லை |
| Erecting prism | நிமிர்த்தும் பட்டகம் |
| Error | பிழை |
| Even numbers | இரட்டை எண்கள் |
| Extraordinary ray | அசாதாரணக் கதிர் |
| Eye ball | விழிக்கோணம் |
| Eye lens | விழிவில்லை |
| Eye piece | கண்ணருகு கருவி |
| Eye ring | கண் வளையம் |

## F

| | |
|---|---|
| Fading | மங்குதல் |
| Far point | சேய்மைப்புள்ளி |
| Field intensity | புலச்செறிவு |

| | |
|---|---|
| Field of view | பார்வைப் புலம் |
| Field lens | புலவில்லை |
| Finlte object | வரம்புடைப்பொருள் |
| First order | முதல்வரிசை |
| Fixed point | நிலைப்புள்ளி |
| Flint glass | ஃபிளிண்ட் கண்ணாடி |
| Flood light | ஒளிவெள்ளம் |
| Fluoroscence | ஒளிர்தல் |
| Flux | பாயம் |
| Flux density | பாயச்செறிவு |
| Focal length | குவியத்தூரம் |
| Focal lines | குவியக்கோடுகள் |
| Focal plane | குவியத்தளம் |
| Focal point | குவியப்புள்ளி |
| Focus | குவியம், குவிதல் |
| Foot candle | அடிக்காண்டில் |
| Fraunhofer lines | ஃப்ரான்ஹோஃபர் வரிகள் |
| Fringe | வரிவிலக்கப்பட்ட கோடுகள் |

## G

| | |
|---|---|
| Geometric axis | வடிவியல் அச்சு |
| Geometric shadow | வடிவியல் நிழல் |
| Geometrical image | வடிவியல் பிம்பம் |
| Geometrical optics | வடிவியல் ஒளியியல் |
| Glancing angle | கதிர்தொடு கோணம் |
| Glass slab | கண்ணாடிப்பாளம் |
| Glow | பொலிவு |
| Graduate | அளவுக்குறியீடு செய் |
| Graph | வரைபடம் |
| Grating element | கீற்றணி மூலம் |

## H

| | |
|---|---|
| Half period element | அரை அலைவு நேரக்கூறு |
| Half period zone | அரை அலைவு நேரமண்டிலம் |
| Half shade plate | அரை நிழல் தகடு |
| Horizontal | கிடைமட்டம் |
| Horizontal component | கிடைக் கூறு |
| Horizontal intensity | கிடைச்செறிவு |

| | |
|---|---|
| Horizontal plane | கிடைத்தளம் |
| Hypothetical medium | கற்பித ஊடகம், கற்பனை ஊடகம் |

## I

| | |
|---|---|
| Illuminating power | ஒளி வீசு திறன் |
| Image | பிம்பம் |
| Immersion objective | மூழ்கு பொருளருகு வில்லை |
| Incandescence | வெண் சுடர் |
| Incident ray | படுகதிர் |
| Incident wave front | படுகதிர் அலைமுகப்பு, படு அலை முகம் |
| Incoherent source | மாறியல் ஒளி மூலம் |
| Indicate | சுட்டிக்காட்டு |
| Indigo | கருநீலம் |
| Infinite | எண்ணிலா, ஈறிலா |
| Inference | விளைகோள், அநுமானம் |
| Infra red | புறச் சிவப்பு |
| Instrument | கருவி |
| Intensity | செறிவு |
| Interfere | இடையிடு |
| Interference | குறுக்கீட்டு விளைவு |
| Interference pattern | குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் |
| Interferometer | குறுக்கீட்டு விளைவுமானி |
| Integral multiple | முழு எண் மடக்கை |
| Interspace | இடைவெளி |
| Isotropic | திசையொப்புப் பண்பியலான |

## J

| | |
|---|---|
| Jamin's interferometer | ஜாமின் குறுக்கீட்டு விளைவுமானி |
| Jolly's photometer | ஜாலி ஒளிமானி |

## K

| | |
|---|---|
| Kaleidoscope | பன்னிறங்காட்டி |

## L

| | |
|---|---|
| Laboratory | சோதனைக் கூடம் |
| Least distance of distinct vision | தெளிவுப்பார்வையில் மீச்சிறுதூரம் |

| | |
|---|---|
| Lens | வில்லை |
| Light | ஒளி |
| Light filter | ஒளிவடிப்பான் |
| Light quantum | ஒளிக்குவாண்டம் |
| Line focus | குவிக்கோடு |
| Line source | வரிமூலம் |
| Line spectra | வரி நிறமாலைகள் |
| Liquid lens | திரவ வில்லை |
| Locus | நியமப்பார்வை |
| Long sight | சேய்மைப்பார்வை |
| Lumen | லூமென் |
| Luminous flux | ஒளிவிலக்கப் பாயம் |
| Luminous intensity | ஒளிவிலக்கச் செறிவு |
| Luminous point | ஒளிவிளக்கப் புள்ளி |
| Lunar eclipse | சந்திரக்கிரகணம் |
| Lyman series | லைமான் அணி |

## M

| | |
|---|---|
| Macroscopic state | மீநிலை |
| Magic lantern | மாயவிளக்கு |
| Major axis | பேரச்சு |
| Medium | ஊடகம் |
| Method of coincidence | ஒன்றிப்பு முறை |
| Micrometer | மைக்ராமீட்டர் |
| Minor axis | சிற்றச்சு |
| Minor chord | சிற்றிசைத் தொகுதி |
| Mercury | பாதரசம் |
| Mirage | கானல் நீர் |
| Mirror | ஆடி |
| Mirror strip | ஆடித்துண்டு |
| Monochromatic light | ஒற்றைநிற ஒளி |
| Multifaced mirror | பன்முக ஆடி |
| Multiple | மடங்கு |
| Multiple reflection | பன்முக எதிரொளிப்பு |

## N

| | |
|---|---|
| Newton's rings | நியூட்டன் வளையங்கள் |
| Nicol prism | நைக்கல் பட்டகம் |
| Nodal line | அதிர்விலாக் கோடு |

| | |
|---|---|
| Nodal point | அதிர்விலாப் புள்ளி |
| Normal dispersion | இயல்பு நிறப் பிரிகை |
| Normal incidence | நேர்குத்துப் படுகை |

## O

| | |
|---|---|
| Objective | பொருளருகு வில்லை |
| Oblique Incidence | சாய்வுப்படுகை |
| Oblique reflection | சாய்வு எதிரொளிப்பு |
| Obliquity | சாய்வுத் தன்மை |
| Omega | ஓமிகா |
| Opaque | ஒளிபுகா |
| Optic axis | ஒளி அச்சு |
| Optic bench | ஒளியியல் அளவுச் சட்டம் |
| Optic centre | ஒளியியல் மையம் |
| Optical action | ஒளியியல் வினை |
| Optical disc | ஒளியியல் வட்டு |
| Optical filter | ஒளி வடிகட்டி |
| Optical instrument | ஒளியியல் கருவி |
| Optic lever | ஒளியியல் நெம்புகோல் |
| Optical path | ஒளிப்பாதை |
| Optical rotation | ஒளியியல் சுழற்சி |
| Optically active medium | ஒளியியல் வினை ஊடகம் |
| Optics | ஒளியியல் |
| Order | வரிசை |
| Ordinary ray | சாதாரணக் கதிர் |
| Ovelapping spectrum | மேற் பொருந்தும் நிறமாலைகள் |

## P

| | |
|---|---|
| Parabola | பரவளையம் |
| Parabolic mirror | பரவளைய ஆடி |
| Paraxial rays | அச்சினக் கதிர்கள் |
| Parallax | இடமானத் தோற்றம் |
| Parallel mirrors | இணை ஆடிகள் |
| Path difference | பாதை வேறுபாடு |
| Path equivalence | பாதைச் சமன் |
| Pentane lamp | பென்டேன் விளக்கு |
| Penultimate | ஈற்றயல் |
| Periscope | பெரிஸ்கோப் |
| Perpendicular | செங்குத்துக்கோடு |

| | |
|---|---|
| Persistant of vision | பார்வை நீடிப்பு |
| Phase | கட்டம் |
| Phase change | நிலைமாற்றம், கட்டமாற்றம் |
| Phase contrast microscope | மாறுகட்ட நுண்ணோக்கி |
| Phase difference | கட்ட வேறுபாடு |
| Phase shift | கட்டப் பெயர்ச்சி |
| Phase | கட்டப்பெயர்ச்சி அலையியற்றி |
| Phase velocity | கட்டத் திசை வேகம் |
| Photography | ஒளிப்படவியல் |
| Photometer | ஒளிமானி |
| Photometry | ஒளி அளவியல் |
| Photo multiplier | ஒளிமின் பெருக்கி |
| Photographic plate | ஒளிப்படத்தட்டு |
| Photon | ஃபோட்டான் |
| Photo sensitivity | ஒளிஉணர்திறன் |
| Physical optics | பௌதிக ஒளியியல் |
| Procedure | வழிமுறை |
| Precaution | எச்சரிக்கை |
| Pin cushion distortion | ஊசிமெத்தைத் திரிபு |
| Pin hole | ஊசித்துளை |
| Pivot | சுழற்சித் தானம் |
| Plane of incidence | படுதளம் |
| Plane mirror | சமதள ஆடி |
| Plane of paper | தாள் தளம் |
| Plane waves | தள அலைகள் |
| Plano concave lens | தட்டக்குழி வில்லை |
| Plano convex lens | தட்டக்குவி வில்லை |
| Point of emergence | வெளியேறு புள்ளி |
| Point image | புள்ளிப் பிம்பம் |
| Point of incidence | படுகைப்புள்ளி |
| Point object | புள்ளிப்பொருள் |
| Polarimeter | பொலாரி மீட்டர் |
| Polarisation | தள விளைவு |
| Polariscope | போலாரிஸ்கோப் |
| Polarised light | தளவிளைவுற்ற ஒளி |
| Polarisibility | முனைவாகு திறன் |
| Polaroid | போலராய்டு |
| Pole of the mirror | ஆடிமையம் |
| Pole of the wave front | அலைமுக மையம் |
| Positive | நேர்; மிகை |

| | |
|---|---|
| Postulate | எடுகோள்; ஒப்புக்கோள் |
| Power of the lens | வில்லைத்திறன் |
| Primary rainbow | முதன்மை வானவில் |
| Principal focus | முதன்மைக் குவியம் |
| Principal maximum | முதன்மைப் பெருமம் |
| Principal plane | முதன்மைத் தளம் |
| Principal series | முதன்மை அணி |
| Prism | பட்டக முகப்பு |

## Q

| | |
|---|---|
| Quantum | குவாண்டம் |
| Quarter wave plate | கால் அலைவுத் தட்டு |

## R

| | |
|---|---|
| Radiant energy | வீசுகதிர் ஆற்றல் |
| Radiation | வீசுகதிர் |
| Radius | ஆரம் |
| Radius of curvature | வளைவு ஆரம் |
| Rainbow | வானவில் |
| Raper medium | அடர்குறை ஊடகம் |
| Ray axis | கதிர் அச்சு |
| Ray velocity | கதிர் திசைவேகம் |
| Rays | கதிர்கள் |
| Real image | மெய்ப்பிம்பம் |
| Rectilinear | நேர்கோட்டியலான |
| Rectilinear propagation | நேர்கோட்டுச் செலவு |
| Red | சிவப்பு |
| Reflected beam | எதிரொளிப்புக் கற்றை |
| Reflecting power | எதிரொளிப்புத் திறன் |
| Reflection | எதிரொளிப்பு |
| Reflection coefficien t | எதிரொளிப்பு எண் |
| Reflacted beam | விலகு கதிர்க்கற்றை |
| Reflector | எதிரொளிப்பான் |
| Refraction | ஒளிவிலகல் |
| Refractive index | ஒளிவிலகெண் |
| Reinforcement | வலியூட்டம் |
| Replicit | நேர்படி |
| Research laboratory | ஆய்வுக்கூடம் |
| Resolving power | பகுதிறன் |
| Retina | விழித்திரை |

# S

| | |
|---|---|
| Saccharimeter | சர்க்கரைமானி |
| Scattering of light | ஒளிச் சிதறல் |
| Screen | திரை |
| Secondary rainbow | பின்வரு வானவில் |
| Secondary waves | பின்வரு அலைகள் |
| Secondary wavelet | பின்வரு அலைக்குட்டி |
| Sextant | செக்ஸ்டண்டு |
| Shadow | நிழல் |
| Shift | பெயர்ச்சி |
| Shift of fuinges | ஒளிவரிப்பெயர்வு |
| Sign convention | குறியீட்டு மரபு |
| Simple harmonic motion | சீரிசை இயக்கம் |
| Simple microscope | தனி நுண்ணோக்கி |
| Sine condition | சைன் நிபந்தனை |
| Sine curve | சைன் வளைகோடு |
| Single slit | ஒற்றைநிலைப் பிளவு, ஒற்றைப்பிளவு |
| Slit source | பிளவொளி மூலம் |
| Slab | பாளம் |
| Sodium doublet | சோடியம் இரட்டைக்கோடு |
| Sodium vapour lamp | சோடியம் ஆவி விளக்கு |
| Solar eclipse | சூரியக்கிரகணம் |
| Solar system | ஞாயிற்றுக் குடும்பம் |
| Solid | திடப்பொருள் |
| Source | மூலம் |
| Specific rotation | தன் திருப்பு எண் |
| Spectrometer | நிறமாலை மானி |
| Spectroscope | நிறமாலை காட்டி |
| Spectrum analysis | நிறமாலைப் பகுப்பாய்வு |
| Speed | வேகம் |
| Speed of rotation | சுழல் வேகம் |
| Spherical aberation | உருட்சிப் பிறழ்ச்சி |
| Spherical waves | கோள அலைகள் |
| Square law | இருமடி விதி |
| Square root | இருமடி மூலம் |
| Standardisation | படித்தரம் பார்த்தல் |
| Subsidiary images | துணைப்பிம்பங்கள் |
| Subsidiary maxima | துணைப் பெருமங்கள் |
| Systems of units | அலகு முறைகள் |

## T

| | |
|---|---|
| Tangent | தொடுகோடு |
| Tangential | தொடுவியலான |
| Tangential screw | தொடுவியல் திருகு |
| Telephoto lens | தொலைப்படவில்லை |
| Telescope | தொலைநோக்கி |
| Telescopic objective | தொலைநோக்கி பொருளருகுவில்லை |
| Theory | கொள்கை |
| Theory of colour vision | நிறப்பார்வைக் கொள்கை |
| Thick lens | தடிவில்லை |
| Thin film | மென்படலம் |
| Thin lens | மென்வில்லை |
| Thin prism | மென்பட்டகம் |
| Total reflecting prism | முழு எதிரொளிப்புப் பட்டகம் |
| Total reflection | முழு எதிரொளிப்பு |
| Tourmaline | டூர்மலைன் |
| Transmission | செலுத்துகை |
| Transmission line | ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பி |
| Transparent material | பொருள் |
| Transverse wave motion | குறுக்கலையியக்கம் |
| Transverse waves | குறுக்கலைகள் |
| Turn table | திருப்புப்பலகை |

## U

| | |
|---|---|
| Unpolarised light | தளவிளைவுறு ஒளி |
| Upright | செந்தாங்கி |

## V

| | |
|---|---|
| Vacuum | வெற்றிடம் |
| Vacuum spectrograph | வெற்றிட நிறமாலை மானி |
| Vector | வெக்டார் |
| Vertical plane | செங்குத்துத்தளம் |
| Vibration | அதிர்வு, அலைவு |
| Virtual | தோற்றவியலான |
| Virtual object | மாயப்பொருள் |
| Virtual source | மாய மூலம் |
| Visible | கண்ணுறும் |
| Vision | காட்சி, பார்வை |

## W

| | |
|---|---|
| Wave band | அலைப்பட்டை |
| Wave envelope | அலை |
| Wave equation | அலைச்சமன்பாடு |
| Wave front | அலைமுகம் |
| Wavelet | அலைக்குட்டி |
| Wave motion | அலையியக்கம் |
| Wave number | அலை எண் |
| Wave packet | அலைப்பெட்டகம் |
| Wave surface | அலை |
| Wave theory | அலைக்கொள்கை |
| Wave train | அலைத்தொடர் |
| Wave velocity | அலைத் திசை வேகம் |
| Wave velocity surface | அலைத் திசை வேகப் பரப்பு |

## Y

| | |
|---|---|
| Young's interference | யங் குறுக்கீட்டு விளைவு |

## Z

| | |
|---|---|
| Zero error | தொடக்கப் பிழை |
| Zero order | சுழி வரிசை |
| Zone | மண்டிலம் |
| Zone plate | மண்டிலத்தட்டு |

# தமிழ் வெளியீட்டுக் கழகம்

சென்னை - 9

## 1969 ஜனவரிவரை வெளியிட்டுள்ள நூல்கள்

பொருளாதாரம்

| | | | | ரூ. | பை. |
|---|---|---|---|---|---|
| *1. | பொருளாதாரம் — I | ... சி. வேலாயுதம் | ... | 6 | 50 |
| *1-a. | ,, II | ... ,, | ... | 9 | 00 |
| 2. | புதுமைப் பொருளாதாரக் கூறுகள் | ... திருமதி ஆர். தாமரஜாட்சி | ... | 12 | 00 |
| 3. | பொருளாதாரம் — ஓர் அறிமுகம் — I | ... தி. சி. மோகன் | ... | 12 | 00 |
| 4. | ,, ,, II | ... எம். ஏ. அபூர்வசாமி பி, வி. ஸ்ரீநிவாசன் | ... | 10 | 75 |
| 5. | பொருளாதாரக் கோட்பாடு வளர்ந்த வரலாறு | ... க. முத்தையன் | ... | 7 | 00 |
| *6. | பணவியலும் பாங்கியலும் — II | ... சி. வேலாயுதம் | ... | 11 | 50 |
| 7. | நவீன பாங்கு இயல் | ... க. வெற்றிவேல் | ... | 7 | 50 |
| *8. | இந்தியச் செலாவணியும் பாங்கு முறையும் | ... பி. வி. ஸ்ரீநிவாசன் | ... | 5 | 50 |
| *9. | அரசாங்க நிதி இயல் | ... அர. சேஷாசலம் | ... | 4 | 75 |
| 10. | இந்தியப் பொருளியல் — I | ... எம். பாலசுப்பிரமணியன் | ... | 10 | 00 |
| 11. | ,, II | ... எம். லூர்துநாதன் | ... | 4 | 25 |
| 12. | நமது பொருளாதாரப் பிரச்சினை — I | ... சி. சுந்தரராஜன் | ... | 10 | 75 |
| 13. | ,, II | ... எஸ். குழந்தைநாதன் | ... | 10 | 50 |
| 14. | இங்கிலாந்தின் பொருளாதார வரலாறு — I | ... கீ. சீ. இராமசாமி | ... | 6 | 00 |
| 15. | ,, ,, II | ... ,, | ... | 6 | 00 |
| 16. | அமெரிக்காவின் நவீன பொருளாதார வளர்ச்சி | ... தி. சி. மோகன் | ... | 5 | 00 |
| 17. | அமெரிக்கப் பொருளாதார வரலாறு — I | ... மு. க. சுப்பிரமணியம் | ... | 11 | 00 |
| 18. | ,, ,, II | ... பி. வி. சீனிவாசன் | ... | 6 | 50 |
| 19. | ,, ,, III | ... ,, | ... | 6 | 50 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 20. | அரசாங்க நிதியியலின் பொருளாதாரம்—I | மா. குமாரசாமி | 10 | 00 |
| 21. | ,, ,, II | அர. சேஷாசலம் | 9 | 50 |
| 22. | இந்தியாவின் பொருளாதார வளர்ச்சி—I | தே. வேலப்பன் | 10 | 00 |
| 23. | ,, ,, II | ஜி. சிதம்பரம் | 8 | 00 |
| 24. | பணம்—சிறு விளக்கம் | கோ. இராதாகிருஷ்ணன் | 10 | 00 |
| *25. | வணிக இயலின் தத்துவங்கள் | கு. ஆளுடைய பிள்ளை | 9 | 50 |
| 26. | பத்தொன்பதாம் நூற்றுண்டில் கிரேட் பிரிட்டனில் தொழில்-வாணிகப் புரட்சி | சூ. ரா. கருப்பண்ணன் | 11 | 00 |
| 27. | பென்ஹாம் பொருளாதாரம்— I | ஏ. குழந்தை | 11 | 00 |
| 28. | ,, ,, II | எஸ். குழந்தைநாதன் | 7 | 00 |
| *29. | வரவு செலவுத் திட்டம் | ஆர். ரங்காச்சாரி | 6 | 00 |
| 30. | பன்னுட்டுப் பொருளாதாரம்—I | ஏ. குழந்தை | 7 | 50 |
| 31. | ,, ,, II | கே. எஸ். இராமசாமி | 9 | 00 |
| 32. | பொருளாதார ஆய்வு நூல்—I | கோ. இராதாகிருஷ்ணன் | 7 | 75 |
| 33. | ,, ,, II | ,, | 7 | 00 |
| 34. | வளர்ச்சியுருத நாடுகளின் அரசாங்க நிதியியல் | க. வெற்றிவேல் | 4 | 25 |
| 35. | வளர்ச்சி குறைந்த நாடுகளின் முதலாக்கம் பற்றிய சிக்கல்கள் | மா. குமாரசாமி | 5 | 50 |
| 36. | 1939 முதல் இந்தியாவில் பணவீக்க விலைப் போக்குகள் | சி. சுந்தரராஜன் | 7 | 50 |
| 37. | பொருளாதார வளர்ச்சி பற்றிய கட்டுரைகள் | எம். கே. சுப்பிரமணியம் | 7 | 75 |
| 38. | இந்தியப் பொருளாதார வரலாறு (1857—1956)—I | ம. திருநாவுக்கரசு | 7 | 00 |
| 39. | பொருளாதாரம்—ஓர் அறிமுகம் | பு. வி. சீனிவாசன் | 6 | 25 |

வரலாறு

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *40. | பிரிட்டன் வரலாறு—I | கி. ர. அனுமந்தன் | 4 | 50 |
| *41. | ,, ,, II | ,, | 3 | 50 |
| *42. | ஐரோப்பிய வரலாறு—I | டி. வி. சொக்கப்பா | 4 | 50 |

*மூல நூல் (Original book)

வரலாறு (தொடர்ச்சி)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 43. | ஐரோப்பா—கடந்த ஐந்து நூற்றுண்டுகாலச் சரித்திரம் | வை. விருத்தகிரீசன் | 15 | 00 |
| 44. | இங்கிலாந்து வரலாறு—I | இரா. அண்ணுமலை | 13 | 00 |
| 45. | ,, ,, II | பா. மாணிக்கவேலு | 13 | 00 |
| 46. | ,, ,, III | என். ஜே. ராஜகோபால் | 8 | 00 |
| 47. | ,, ,, IV | ,, | 8 | 00 |
| 48. | இங்கிலாந்தின் வரலாறு—I | க. த. திருநாவுக்கரசு | 15 | 00 |
| 49. | ,, ,, II | எம். எக்ஸ். மிராண்டா | 8 | 00 |
| 50. | ,, ,, III | ,, | 5 | 00 |
| 51. | இந்தியாவின் சிறப்பு வரலாறு—I | தி. வெ. குப்புசாமி | 7 | 50 |
| 52. | ,, ,, II | ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப் | 9 | 00 |
| 53. | ,, ,, III | அ. பாண்டுரங்கன் | 11 | 00 |
| 54. | கிரேக்க நாட்டு வரலாறு—I | சைமன் ஐ. எஸ். பாக்கியநாதன் | 7 | 50 |
| 55. | ,, ,, II | ,, | 7 | 00 |
| 56. | ,, ,, III | பி. இராமாநுஜம் தேவதாஸ் | 7 | 75 |
| 57. | ஆக்ஸ்ஃபோர்டின் இந்திய வரலாறு—I | தி. வெ. குப்புசாமி | 8 | 25 |
| 58. | ,, ,, II | ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப் | 7 | 50 |
| 59. | ,, ,, III | க. த. திருநாவுக்கரசு | 10 | 50 |
| 60. | முகலாயப் பேரரசு—I | ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப், எம்.எக்ஸ்.மிராண்டா | 7 | 50 |
| 61. | ,, II | எம். எக்ஸ். மிராண்டா, பா. மாணிக்கவேலு | 7 | 75 |
| 62. | ஆங்கில அரசியலமைப்பின் வரலாறு—I | வை. விருத்தகிரீசன் | 7 | 50 |
| 63. | ,, ,, II | வை. விருத்தகிரீசன், இரா. அண்ணுமலை | 6 | 70 |
| 64. | ,, ,, III | இரா. அண்ணுமலை, பா. மாணிக்கவேலு | 6 | 55 |
| 65. | ,, ,, IV | பா. மாணிக்கவேலு | 7 | 00 |
| 66. | ஆங்கிலேயரின் சமுதாய வரலாறு—I | சி. ஈ. இராமச்சந்திரன், | 6 | 50 |
| 67. | ,, ,, II | சி. ஈ. இராமச்சந்திரன் | 6 | 75 |
| 68. | ,, ,, III | இர. ஆலாலசுந்தரம் | | |
| | | ஆர். ஆலாலசுந்தரம் | 6 | 50 |
| 69. | இந்தியாவில் முகலாயரின் ஆட்சி—I | பா. மாணிக்கவேலு | 5 | 00 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 70. | இந்தியாவில் முகலாயரின் ஆட்சி—II | ... ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப் | ... 6 | 00 |

அரசியல்

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| •71. | இந்திய அரசியலமைப்பு | ... வீ. கண்ணையா | ... 4 | 75 |
| 72. | அரசியலுக்கு ஓர் அறிமுகம் | ... டி. செல்லப்பா | ... 8 | 50 |
| 73. | தற்கால அரசியல் அமைப்புகள் | ... மோ. வள்ளுவன் கிளாரன்சு | ... 8 | 50 |
| 74. | பன்னாட்டு அரசியல்—I | ... திருமதி நூர்ஜஹான் பாவா | ... 16 | 00 |
| 75. | ,, II | ... ,, | ... 13 | 25 |
| 76. | பொதுத்துறை ஆட்சி இயல்—I | ... வீ. கண்ணையா | ... 9 | 00 |
| 77. | ,, ,, II | ... அ. ஜெகதீசன் | ... 7 | 25 |
| 78. | பொதுத்துறை ஆட்சியியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்—I | ... வீ. கண்ணையா | ... 7 | 50 |
| 79. | ,, II | ... டி. செல்லப்பா | ... 7 | 50 |
| 80. | இந்திய அரசியலமைப்புத் திட்டம் | ... தி. வெ. குப்புசாமி, எஸ். சுப்பிரமணியன் | ... 9 | 25 |
| 81. | இந்திய ஆட்சி அமைப்பு முறை வளர்ச்சி—I | ... வீ. கண்ணையா | ... 6 | 25 |
| 82. | ,, ,, II | ... வீ. கண்ணையா, கி. ர. அனுமந்தன் | ... 5 | 75 |
| 83. | இந்திய ஆட்சி அமைப்புமுறை வளர்ச்சி—III | ... கி. ர. அனுமந்தன் | ... | |
| *84. | மக்கள் ஆட்சி | ... க. சந்தானம் | ... 4 | 52 |
| 85. | 1919 முதல் சர்வதேச உறவுகளும் உலக அரசியலும் | ... என். ஜே. ராஜகோபால் | ... 7 | 75 |
| 86 | சமூக, அரசியல் கொள்கையின் அடிப்படைகள் | ... மோ. வள்ளுவன் கிளாரன்ஸ் | ... 7 | 00 |
| 87. | அரசியலமைப்புச் சட்ட ஆய்வுக்கு ஓர் அறிமுகம் I | பா. சூரியநாராயணன், | ... 5 | 70 |
| 88. | ,, ,, II | ... பா. சூரியநாராயண கி. ர. அனுமந்தன் | ... 6 | 00 |
| 89. | ,, ,, III | ... கி. ர. அனுமந்தன் | ... 5 | 75 |

உளவியல்

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 90. | குழந்தை உளவியல்—I | ... கி. ர. அப்புள்ளாச்சாரி | ... 8 | 00 |
| 91. | ,, II | ... ,, | ... 7 | 00 |
| 92. | உட்கவர் மனம் | சி. ந. வைத்தீஸ்வரன் | ... 7 | 00 |
| 93. | இளையோர் உளவியல்—I | ... தி. இரா. அரங்கராசன் | ... 12 | 00 |

*மூலநூல் (Original Book)

**உளவியல்**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 94. | இளையோர் உளவியல்—II | த. இரா. அரங்கராசன் | 9 | 00 |
| 95. | சமூக உளவியல் | என். வேதமணி மானுவேல் | 9 | 25 |
| 96. | பிறழ்நிலை உளவியல் | அ. பெசன்ட் கிரீப்பர்ராஜ் | 11 | 00 |
| 97. | பித்தரின் உள்ளம் | ,, | 3 | 00 |
| 98. | குமர உள்ளம் | டாக்டர் மு. அறம் | 6 | 25 |

**தத்துவம்**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 99. | இந்து சமயத் தத்துவம் | ஞா. ராஜாபகதூர் | 5 | 50 |
| *100 | அறிவு ஆராய்ச்சி இயல் | ஆர். ராமானுஜாச்சாரி | 3 | 50 |
| *101. | மேலைநாட்டுத் தத்துவம் | ஆர். எஸ். தேசிகன் | 3 | 50 |
| 102. | அத்துவித தத்துவம் | கோ. மோ. காந்தி | 6 | 50 |
| 103. | ஆங்கிலேயப் பயன்வழிக் கொள்கையினர் | மோ. வள்ளுவன் கிளாரன்சு | 5 | 50 |
| 104. | இந்தியத் தத்துவம்—I | வ. அ. தேவசேனாபதி, பா. நா. சண்முகசுந்தரம் | 3 | 50 |
| 105. | ,, —II | ,, | 6 | 00 |
| 106. | மெய்ப்பொருளியல்—ஓர் அறிமுகம்—I | சி. இராமலிங்கம் | 6 | 00 |

**அறவியல்**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 107. | அறவியல்—ஓர் அறிமுகம் | கோ. மோ. காந்தி | 8 | 50 |

**அளவையியல்**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 108. | அளவையியல்—தொடக்க நூல் | கி. ர. அப்புள்ளாச்சாரி | 2 | 50 |

**மானிடவியல்**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *109. | மானிடவியல் | ம. சு. கோபாலகிருஷ்ணன் | 4 | 75 |
| 110. | பண்பாட்டுக் கோலங்கள் | கி. பூ சுப்ரமணியம் | 5 | 50 |
| 111. | இந்தியாவில் குடியானவர் வாழ்க்கை | எஸ். இலட்சுமி | 3 | 50 |

**சமூகவியல்**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 112. | சமூகவியலின் அடிப்படைக் கோட்பாடுகள் | ஜே. நாராயணன் | 10 | 50 |

புவியியல்

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 113. | ஆசியா—I | கொ. சேஷ. நரசிம்மன் | 9 | 50 |
| 114. | ,, II | ,, | 8 | 75 |
| 115. | ஐரோப்பாக் கண்டத்தின் புவியியல் | ஏ. எஸ். நாராயணன் | 8 | 50 |
| *116. | தென் கிழக்கு ஆசியா | ஜி கிருஷ்ணமூர்த்தி | 8 | 50 |
| *117. | வட அமெரிக்கா | குமாரி இரா. அலமேலு | 8 | 25 |
| *118. | தென் அமெரிக்கா | எம். என். பத்மநாபன் | 9 | 00 |
| *119. | தென் கண்டங்கள்—ஆஸ்திரேலியா | திருமதி எச். நியூமன் | 4 | 00 |
| *120. | ,, —ஆஃப்ரிக்கா | எஸ். முத்துக்கிருஷ்ணக் கரையாளர் | 3 | 25 |
| *121. | புவிப்புறவியல்—II | நா. அனந்தபத்மநாபன் | 6 | 00 |
| *122. | செய்முறைப் புவியியல் | சு. ஜெயச்சந்திரன் | 9 | 00 |
| *123. | மக்கட்பரப்பியல் | வி. எஸ். அனந்தபத்மநாபன் | 6 | 25 |
| *124. | சமுத்திரவியல் | கோ. இராமசாமி | 6 | 50 |
| 125. | காலநிலை இயல்—I | கொ. சேஷ. நரசிம்மன் | 10 | 00 |
| 126. | ,, II | ,, | 5 | 00 |
| 127. | வளியியலுக்கு ஓர் அறிமுகம் | கோ. இராமசாமி | 11 | 00 |
| *128. | புவி அமைப்பு இயல் | சி. விஸ்வநாதன் | 4 | 75 |
| 129. | பௌதிகப் புவியியலும் புவியமைப்பியலும் | கோ. இராமசாமி | 6 | 00 |
| 130. | சிஷோமின் வாணிகப் புவியியல்—I | எஸ். மாணிக்கம் | 9 | 50 |
| 131. | ,, ,, II | எம். கார்த்திகேயன் | 12 | 00 |
| 132. | ,, ,, III | சி எஸ். நரசிம்மன் | | |

புள்ளியியல்

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *133. | புள்ளியியல்—அறிமுகம் | சு. வைத்தியநாதன் | 10 | 00 |
| 134. | புள்ளியியல் முறைகள்—I | கோ. சண்முகசுந்தரம் | 10 | 00 |
| 135. | ,, II | கே. ஆர். இராஜகோபாலன் | 14 | 00 |
| 136. | நம்மைச் சுற்றியுள்ள பேரண்டம் | தி. வி. லட்சுமி நரசிம்மன் | 6 | 50 |

*மூலநூல் (Original Book)

| | | | |
|---|---|---|---|
| **உயர்கணிதம்** | | | |
| *137. ஆயத்தொலை வடிவகணிதம் | ... டி. கே மாணிக்கவாசகம் பிள்ளை | ... 12 | 00 |
| *138. வகை நுண்கணிதம் | ... ,, | ... 8 | 00 |
| *139, தொகை நுண்கணிதம் | ... தி. கோவிந்தராசன் | ... 9 | 00 |
| **விலங்கியல்** | | | |
| *140. விலங்கியல் | ... பெ. மா. அண்ணாமலை, இரா. முருகேசன் | ... 12 | 00 |
| **பௌதிகவியல்** | | | |
| 141. ஒளி நூல் | ... ச. சம்பத்து | ... 10 | 00 |
| **விஞ்ஞானம்** | | | |
| *142. வானவெளி வெற்றி | ... டாக்டர் எம். ஏ. தங்கராஜ் | ... 6 | 00 |
| *143. ரேடியோ | ... ,, பி. திருஞானசம்பந்தம் | ... 4 | 75 |
| *144. எக்ஸ்-கதிர்கள் | ... பெ. நா. அப்புசாமி, ஜே பி. மாணிக்கம் | ... 4 | 50 |
| *145. பாம்புகள் | ... பெ. மா. அண்ணாமலை | ... 3 | 50 |
| *146. தாவரம்—வாழ்வும் வரலாறும் | ... டாக்டர் கு. சீனிவாசன் | ... 8 | 00 |
| *147. கரும்பு | ... கு. பெரியசாமி | ... 4 | 00 |
| *148. தாவரங்களின் வாழ்வியல் | ... எஸ். சுந்தரம் | ... 6 | 50 |
| **மருத்துவம்** | | | |
| *149. நீரிழவு—க்ஷயரோகம் | ... டாக்டர் ஜி. வேங்கடசாமி, டாக்டர் ஏ. கதிரேசன் | ... 2 | 50 |
| 150. மகப்பேறும் மாதர் நோயும் | ... டாக்டர் (குமாரி) மணிமேகலை | ... 8 | 25 |
| *151. பாக்டீரியா | ... சு. சுந்தரம் | ... 2 | 50 |
| *152. புற்றுநோய் | ... அ. கதிரேசன் | ... 3 | 50 |
| 153. உடலியங்கியல்—I | ... டாக்டர்கள் ஜி. வேங்கடசாமி, டி. சரோஜினி, எஸ். கே. துரைராஜ், ஆர். சேது. | ... 6 | 75 |
| 154. ,, II | ,, | ... 5 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 155. என்புருக்கி நோய் | டாக்டர் அ. கதிரேசன் | 7 | 25 |
| **பொறியியல்** | | | |
| 156. நீங்களே உங்கள் வீட்டைக் கட்டலாம் | கே. வி. கிருஷ்ணராஜ், சி. ஆர். சுப்பிரமணியம், ஆர். இராமசாமி, கே. வேணுகோபால் | 8 | 50 |
| **கூட்டுறவு** | | | |
| 157. உலகக் கூட்டுறவு இயக்கம் | அ. வேல்மணி | 5 | 50 |
| **சட்டம்** | | | |
| *158. குற்றவியல் சட்டம் | எம். சண்முகசுப்பிரமணியம் | 10 | 00 |
| **பொது நூல்கள்** | | | |
| 159. மகாத்மா காந்தி | சரஸ்வதி தங்கையன் | 3 | 25 |
| 160. விவசாயப் புரட்சி | வி. கார்த்திகேயன் | 8 | 00 |
| *161. சேமக் கை நூல் | ஆ. சுப்பிரமணியம் | 2 | 50 |
| *162. முற்காலச் சோழர் கலையும் சிற்பமும் | எஸ். ஆர். பாலசுப்பிரமணியம் | 9 | 00 |
| *163. உணவும் ஊட்டமும் | தி. வேங்கிடகிருஷ்ணய்யங்கார் | 4 | 50 |
| **புதுமுக வகுப்புகளுக்குரியவை (P.U.C.)** | | | |
| *164. உலக வரலாறு | டி. ஆர். இராமச்சந்திரன் | 4 | 50 |
| *165. பொருளாதாரம் | ஜி. சிதம்பரம் | 2 | 75 |
| *166. வணிகவியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்—I | கு. ஆளுடைய பிள்ளை | 2 | 50 |
| *167. ,, ,, II | ,, | 2 | 25 |
| *168. பௌதிகம் | டாக்டர் பி. திருஞானசம்பந்தம், ஆர். நாகராஜன் | 7 | 50 |
| *169. புகுமுக பௌதிகம் | டாக்டர் எம். ஏ. தங்கராஜ் | 5 | 75 |
| *170. புகுமுக வகுப்புக் கணிதம்—I | கே. ராஜகோபாலன் | 7 | 00 |
| *171. ,, II | கே. இராஜகோபாலன் | 3 | 00 |

*மூலநூல் (Original Book)

புகு முக வகுப்புகளுக்குரியவை (P.U.C) தொடர்ச்சி

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *172. | புகுமுக வகுப்புக் கணித நூல்—I | டி. கோவிந்தராஜன், முத்துசாமி | 7 | 00 |
| *173. | ,, II | ,, ,, | 4 | 50 |
| *174. | கணிதம்—ஓர் அறிமுகம்—I | ஆர். மகாதேவன் | 4 | 75 |
| *175. | ,, II | ,, | 3 | 25 |
| *176. | வேதியியல் | பி. டி. முனியப்பா, ஆர். முத்துலட்சுமி | 7 | 00 |
| *177. | புகுமுக வேதியியல் | சி. ஏ. பத்மநாபன் | 5 | 50 |
| *178. | விலங்கியல் | எஸ். ஆப்ரகாம் | 4 | 00 |
| *179. | புகுமுக விலங்கியல் | பெ. மா. அண்ணாமலை | 7 | 25 |
| *180. | புகுமுக வகுப்புத் தாவரவியல் | எஸ். சுந்தரம் | 4 | 50 |

*மூலநூல் (Original Book)